

MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTE A DEFINIÇÃO DE TEMPOS DE INSPEÇÃO BASEADO NO MÉTODO PROMETHEE II

Rodrigo Vasconcelos

UFPE

Laboratório de Engenharia e Gestão da Manutenção, CDSID, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife PE, CEP: 50.670-901, Brasil
rodrigo_tenorio@hotmail.com

Cristiano Cavalcante

UFPE

Laboratório de Engenharia e Gestão da Manutenção, CDSID, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife PE, CEP: 50.670-901, Brasil
cristianogesm@gmail.com

Rodrigo Lopes

UFPE

Laboratório de Engenharia e Gestão da Manutenção, CDSID, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife PE, CEP: 50.670-901, Brasil
rodrigoengep@gmail.com

Resumo

Este artigo trata de políticas de manutenção desenvolvida em trechos de gasodutos, mais especificamente aplicado no contexto de inspeções de válvulas de bloqueio inseridas nos dutos. Sua grande motivação deriva do fato da demanda por gás natural estar passando por amplo crescimento. Como a procura por esse combustível aglomera distintas organizações, uma parcela razoável de linhas de dutos está inserida em áreas habitadas, aumentando ainda mais os riscos de acidentes. Com isso, a correta política de manutenção assume um papel estratégico para a empresa responsável. O artigo propõe um novo modelo de inspeção baseado no delay time e sob uma perspectiva multicritério, onde o custo das inspeções e a disponibilidade das válvulas são modelados. O método PROMETHEE é usado para tratar dos conflitos entre os critérios de avaliação, chegando então à melhor política de manutenção a ser adotada, de acordo com as preferências do decisor.

Palavras-chaves: Manutenção em Gasodutos, Modelo Multicritério de Suporte à Decisão, Políticas de Manutenção. (ADM-Apoio à Decisão Multicritério)

Abstract

This article is about maintenance policies drawn up for sections of pipelines, more specifically as applied in the context of inspections of security valves placed in pipelines. What impelled this study to be undertaken stems from the fact of the demand for natural gas has been growing enormously. As the demand for this fuel comes from a wide range of different organizations, a largish number of gas lines are located in inhabited areas, which further increases the risk of accidents. Therefore, the correct maintenance policy takes on a strategic role for the company responsible. Thus, the article proposes a new inspection model based on the delay time and uses a multicriteria perspective, in which the cost of inspections and availability of the valves are modeled. The PROMETHEE method is used to tackle the conflicts between the evaluation criteria, so that the best maintenance policy may be adopted, in accordance with the preferences of the decision maker.

Keywords: Pipeline Maintenance; Multicriteria Model for Decision Aid; Maintenance Policies.

1. Introdução

O gás natural é uma substância formada de hidrocarbonetos, originada da decomposição de materiais orgânicos, encontrado geralmente em reservas subterrâneas, tanto no ambiente marítimo como no continental (LOURENÇO, 2003).

Em vista de o seu baixo poder poluente, do desenvolvimento de novas tecnologias, que favorecem o uso de gás natural, bem como dos programas de incentivos do governo brasileiro para uso do gás natural, o Brasil vivencia, atualmente, fase bastante favorável no que diz respeito às perspectivas de crescimento de demanda para esse energético, o que vem viabilizando uma infra-estrutura cara de transporte e distribuição.

Em face desse contexto de franca expansão da malha de gasodutos no Brasil, é bastante evidente o papel da manutenção a fim de salvaguardar as condições necessárias e suficientes para, não apenas operar o sistema de distribuição, mas, principalmente, prover uma maior segurança aos usuários e a população vizinha dos trechos de gasoduto, por meio de políticas de manutenção eficientes, aplicadas aos sistemas de proteção.

Neste sentido, o artigo proposto trata de um modelo multicritério para o estabelecimento da política de manutenção, operacionalizada em termos de atividades de inspeção, voltada para um sistema de proteção com um único componente (válvula). Para esse tipo de sistema, três estados possíveis são admitidos: falha, defeituoso ou operacional.

2. Planejamento de Manutenção em Gasoduto

Muitos autores descrevem que o objetivo da manutenção é garantir a disponibilidade máxima do sistema, com o desempenho apropriado e que é esperado. Segundo Antaki (2003), os ativos físicos que compõe o sistema de gasodutos, são os dutos, válvulas, equipamentos ativos (bombas, compressores, etc.), instrumentação, trocadores de calor, componentes “in-line”, a isolamento, suportes, entre vários outros, que podem variar em situações específicas.

Ainda de acordo com o Antaki (2003), o planejamento da manutenção para os gasodutos é desenvolvido segundo uma metodologia. Primeiramente, para qualquer sistema, é determinado à estratégia de manutenção a ser implementada, preventiva (preditiva) ou corretiva, pois muitas vezes o custo de se implantar uma manutenção preventiva pode superar os custos de correção após as falhas, principalmente para componentes mais simples e menos críticos. Em seguida, para cada sistema identificado por manutenção preventiva, preparar uma lista de componentes (segmentos de dutos, válvulas, bombas, compressores etc.). Para cada um desses componentes, explicita-se sua função principal, o modo e as causas das falhas, acrescentando também as possíveis consequências. Para cada causa de falhas em componentes, seleciona-se uma adequada técnica para inspeção, a finalidade é decidir o que é necessário para a inspeção, quando, onde e como. É com o objetivo de auxiliar processos decisórios nesta etapa do planejamento que o modelo multicritério proposto neste trabalho foi desenvolvido. A próxima etapa da metodologia consiste na escolha de critérios para avaliar os resultados da inspeção, que também está inserido dentro do modelo adotado. Os passos finais se resumem ao planejamento e implementação das inspeções, documentação dos resultados e desenvolvimento de recomendações de forma clara, simples e objetiva.

Apesar de muito bem estruturado o procedimento proposto por Antaki (2003), em face das consequências que podem advir de um bom ou mau planejamento de manutenção, é imprescindível o uso de modelos que possam dar suporte a decisão no que diz respeito a melhor política a ser adotada. Em termos práticos, é necessário o suporte de um modelo que leve em consideração parâmetros de engenharia de manutenção, como a confiabilidade, o custo de manutenção, bem como, a disponibilidade para se poder propor a frequência ideal de determinada ação, no caso específico estamos tratando da inspeção.

Na literatura, há vários trabalhos que tratam da proposição adequada da atividade de inspeção em sistemas. Contudo, não são muitos os trabalhos que tratam de modelos específicos para sistema de proteção, aqui considerado o foco do estudo.

Destaca-se o modelo proposto por Jia & Christer (2002), baseado no modelo delay time e que tem como objetivo chegar a um intervalo de tempo ótimo para inspeções, levando em

consideração como critério a disponibilidade ótima. O artigo traz resultados bem interessantes e tem como contexto um sistema de pára-choque hidráulico que reduz o recolhimento no lançamento de mísseis, apesar de uma falha no sistema poder provocar consequências razoáveis elas estão restritas a possíveis demandas do sistema de lançamento de mísseis, podendo estas jamais ocorrerem.

Chama-se a atenção para o fato de que muitas vezes as consequências podem estar associadas a eventos não tão raros como no caso do exemplo trazido por Jia & Christer (2002), bem como pode ter uma amplitude extraordinariamente negativa. Estas são as características presentes nesse trabalho, em que o contexto de aplicação é um sistema de distribuição de gás. De forma mais específica, o modelo proposto é direcionado para o suporte a decisão na especificação de tempos de inspeção de válvulas de bloqueio, nesse caso, uma vez que ocorra uma falha no gasoduto, a impossibilidade de se isolar o problema por um defeito de uma válvula pode levar a consequências desastrosas, sendo um cenário possível uma explosão de grandes dimensões. Além disso, para os cenários menos críticos, mesmo não havendo explosão ou jato de fogo, só a indisponibilidade do energético, essencial para muitos processos produtivos, pode gerar grandes prejuízos, podendo estes se estender por mais alguns quilômetros de duto ou para algumas dezenas de clientes a mais, caso haja falha nas válvulas de bloqueio.

Com base no exposto, fica evidente que os aspectos críticos que devem ser levados em consideração quando se quer definir os tempos entre inspeção nessas válvulas de bloqueio são os custos associados com essa frequência de inspeção, bem como a disponibilidade final dessas válvulas. Como será visto posteriormente, os tempos de inspeção que levam a custos mais atrativos de manutenção (mínimo custo), nem sempre têm bons desempenhos no critério disponibilidade. Por esse motivo, reconhece-se o tratamento multicritério como sendo mais apropriado que a otimização de uma única função objetivo, no que diz respeito ao suporte a decisão para a definição de uma política de inspeção mais adequada. Além disso, como visto em Cavalcante & Almeida (2005), através de uma abordagem multicritério será possível levar em consideração as preferências daqueles que estão mais envolvidos com o problema.

3. Abordagem Multicritério de Suporte a Decisão

A utilização de uma abordagem multicritério estabelece a representação de múltiplos objetivos através de critérios determinados que possuam características conflitantes entre eles. Um dos objetivos é criar uma lista de referência entre as possíveis alternativas, de acordo com os critérios, auxiliando, dessa forma, no processo decisório. Para o tratamento de problemas com essa característica multicritério, avaliou-se o método PROMETHEE como bastante adequado com as características observadas no problema em estudo. Tal método destaca-se por envolver parâmetros que são de fácil entendimento pelo decisor (ALMEIDA & COSTA, 2003).

3.1 Os Métodos PROMETHEE

Segundo Brans & Mareschal (2005), os métodos PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Envrichment Evaluation) são flexíveis, possuindo dois graus de liberdade, sendo eles relativos a seleção do tipo de função de preferência e aos limiares e aos pesos a definir. Diz respeito a métodos de apoio multicritério de suporte a decisão que têm como base a relação de sobreclassificação. Possuem, em geral, duas fases principais: a construção das relações de sobreclassificação e a exploração das relações construídas.

Na primeira fase os construtos são basicamente os mesmos para qualquer que seja o método da família PROMETHEE que esteja sendo empregado. Inicialmente, as performances de cada uma das alternativas são avaliadas para cada critério $f_i(\cdot)$, posteriormente, as alternativas são comparadas observando-se as diferenças $d_i(a,b)=f_i(a)-f_i(b)$ de performances em cada critério i . Observando as diferenças o decisor deve identificar a melhor função (um critério generalizado) $F_i(d_i(a,b))$ que melhor modela suas preferências com respeito as diferenças de performance observadas para cada par de alternativas do conjunto A para um critério particular, além disso, o decisor deverá

atribuir o peso correspondente a cada critério, w_i . Após identificar o critério generalizado $F_i(\cdot)$, os seus parâmetros são estabelecidos pelo decisor e uma nova função é definida que é a função preferência $P_i(a,b)=F_i(d_i(a,b))$ para $d_i(a,b)>0$ e $P_i(a,b)=0$ para $d_i(a,b)\leq 0$.

Como é o PROMETHEE II o método a ser aplicado nesse artigo, o ranque das alternativas é construído baseado no conceito de fluxo líquido $\Phi(a)$. Assim, quanto maior o ranque da alternativa, melhor será esta aos olhos do decisor.

$$\phi(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \sum_{i=1}^k [P_i(a, x) - P_i(x, a)] w_i \quad (1)$$

4. Modelo Multicritério para definição de tempos de inspeção

Conforme já exposto anteriormente, a definição dos tempos de inspeção tem implicações em distintas dimensões, sendo apropriada uma visão mais abrangente, que ao mesmo tempo em que trata dos conflitos entre os critérios, insere as preferências do decisor como parâmetro do modelo. O modelo proposto teve como inspiração o modelo de Jia & Christer (2002), contudo ao invés de se tratar de um problema de maximização da disponibilidade, toma esse aspecto como um critério e propõe uma função custo a ser considerada como um critério adicional a ser levado em consideração pelo decisor. Observa-se que apesar da disponibilidade ser um critério essencialmente importante no planejamento das ações de manutenção, a busca de uma melhor disponibilidade não pode se dar a qualquer custo, nesse sentido, os custos das distintas políticas (períodos diferentes de inspeção) são avaliados. As melhores políticas serão aquelas que equilibrarem uma boa performance em termos de disponibilidade, a custos aceitáveis, e que estejam mais alinhadas as preferências do decisor.

4.1 Estruturação do Modelo Proposto

Como já foi declarado, o modelo proposto baseia-se no modelo de Jia & Christer (2002), esse modelo tem como conceito fundamental o *delay-time*. Este conceito foi inicialmente proposto por Christer & Wang (1995), e rapidamente teve grande repercussão dentro do contexto de manutenção, podendo-se observar atualmente, uma grande quantidade de trabalhos que usam esse conceito fundamental para o desenvolvimento de modelos de manutenção (SCARF *et al*, 2008; SCARF & CAVALCANTE, 2008; SCARF *et al*, 2009; CAVALCANTE *et al*, 2009). Ao se fazer uso do conceito de *delay time*, normalmente, considera o item, ou o sistema, como tendo três estados: (0) estado operacional normal, (1) estado defeituoso, (2) estado falho. Assim, o *delay time* (h) representa o tempo decorrido desde o surgimento do defeito (x) até o momento em que este ocasiona uma falha no sistema. Como impacto prático, observa-se que se as atividades de inspeção forem realizadas durante este intervalo de tempo ($x, x+h$), o defeito é descoberto e a manutenção preventiva é desempenhada, como, por exemplo, a substituição ou o reparo do componente defeituoso. Por outro lado, se acontecer do *delay time* não for suficientemente grande para ultrapassar o tempo restante até a próxima inspeção, o componente ou sistema irá falhar e, conseqüentemente, atividades corretivas de manutenção serão acionadas, acarretando, na maioria das vezes, maiores custos e intervalos de tempos mais extensos para o restabelecimento da condição operacional normal, o que na verdade se traduz por um interrupção maior do processo produtivo. No caso específico, mesmo que sejam pequenos os prolongamentos nas interrupções no fornecimento de gás, por qualquer que seja o motivo, pode ocasionar amplificações substanciais nas conseqüências, bem como podem favorecer para que estas sejam transmitidas a vários clientes atendidos por essa malha de dutos. Nesse sentido, pode-se observar o quanto é importante a adequada definição dos tempos entre inspeções.

No modelo proposto, algumas hipóteses comuns aos modelos que se baseiam no conceito de *delay time*, são também válidas, além disso, para a construção da função custo, algumas considerações foram acrescentadas. Seguem-se então as principais suposições que devem ser observadas:

- Considera-se que no componente existe um modo de falha dominante que necessita ser observado;
- O defeito surge no instante x . As distribuições acumulada (CDF) e de densidade (PDF) de x são conhecidas e denotadas, respectivamente, por $F_x(x)$ e $f_x(x)$;
- O intervalo *delay time* h , é também uma variável aleatória cujas distribuições (CDF) e (PDF) são também conhecidas, sendo essas denotadas por $F_h(h)$ e $f_h(h)$, respectivamente;
- O sistema não se deteriora durante a inspeção;
- As inspeções são efetuadas regularmente nos instantes iT , $i = 1, 2, \dots$, onde T é a variável de decisão;
- A inspeção é perfeita, ou seja, se existir alguma falha/defeito presente, esta surgiu após a última inspeção e será observada na próxima inspeção;
- As ações relativas à inspeção, à substituição preventiva e à substituição devido a falha têm tempos médios de duração distintos, respectivamente, d_i , d_m e d_b .
- Os custos relativos à inspeção, a substituição preventiva e a substituição devido à falha são respectivamente, representados por C_b , C_r , C_f .
- $D(T)$ representa o tempo esperado de *downtime* (de processo interrompido) do sistema;
- $V(T)$ representa o tempo de vida total esperado do sistema (válvula);
- $U(T)$ representa o custo esperado de manutenção do sistema;
- $C(T)$ é o custo de manutenção do sistema por unidade de tempo.

É importante notar que $d_i < d_m < d_b$ e que $C_i < C_r < C_f$. O custo de falha (C_f), em verdade, é considerado um custo de penalidade, ou seja, na ocorrência de uma falha, além do custo de substituição, observam-se diversos outros prejuízos advindos da falha, é o valor médio desses a que chamamos de custo de penalidade C_f .

Abaixo, seguem as principais equações envolvidas no processo de cálculo da disponibilidade e custo de manutenção do sistema para cada instante de tempo, candidato, T .

$$D(T) = \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ (id_i + d_b + iT) \int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x) F_h(iT - x) dx + (id_i + d_m) \int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x) (1 - F_h(iT - x)) dx - \int_{(i-1)T}^{iT} \int_0^{iT-x} (x+h) f_x(x) f_h(h) dh dx \right\} \quad (2)$$

$$V(T) = \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ (id_i + d_b + iT) \int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x) F_h(iT - x) dx + (id_i + d_m + iT) \int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x) (1 - F_h(iT - x)) dx \right\} \quad (3)$$

A disponibilidade $A(T)$, é dada em relação a (2) e (3), da seguinte maneira:

$$A(T) = \frac{V(T) - D(T)}{V(T)} \quad (4)$$

O custo esperado de manutenção é dado por:

$$U(T) = \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ (iC_i + C_r + C_f) \int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x) F_h(iT - x) dx + \right. \\ \left. + (C_r + iC_i) \int_{(i-1)T}^{iT} f_x(x) (1 - F_h(iT - x)) dx \right\} \quad (5)$$

E, assim, o custo esperado de manutenção por unidade de tempo é dado por:

$$C(T) = \frac{U(T)}{V(T)} \quad (6)$$

Onde,

A função densidade de probabilidade (PDF) dos tempos de chegada de um defeito foi adotada como sendo uma Weibull, sendo então representada pela seguinte expressão:

$$f_x(x) = \left[\left(\frac{\beta}{\eta} \right) \cdot \left(\frac{x}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\eta} \right)^{\beta}} \right] \quad (7)$$

As distribuições dos tempos de *delay time* PDF e CDF, são dadas respectivamente pelas equações 8 e 9.

$$f_h(h) = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot h)} \quad (8)$$

$$F_h(h) = 1 - e^{(-\lambda \cdot h)} \quad (9)$$

5. Estudo Numérico

No estudo numérico, ilustra-se a aplicação do modelo no contexto de uma empresa de distribuição de gás natural. Aqui são apresentados dados realísticos.

Vários clientes podem ser atendidos ao mesmo tempo por uma rede de gasodutos. Uma única linha de duto pode suportar diversas ramificações, e, através destas, o abastecimento de inúmeros pontos são realizados.

Os principais clientes do serviço prestado pelas distribuidoras de gás, através de gasodutos, são as grandes indústrias que têm o gás natural como matéria-prima do processo produtivo, agindo como combustível, as termoeletricas, que necessitam do gás para a geração de energia elétrica, que analogamente vai suprir a demanda das empresas; postos de gasolina, que comercializam o gás como combustível de veículos; e, finalmente, até pequenas e médias empresas que estejam instaladas em áreas metropolitanas.

Em razão da imensa margem de clientes, instalados geograficamente em diversos pontos diferentes, as linhas de dutos estão espalhadas em várias áreas ao longo da superfície ou, em muitos casos, abaixo dela. Os gasodutos podem ser encontrados, principalmente, ao longo de sítios industriais, onde sua concentração é maior, devido à demanda. Porém, até chegar ao parque industrial ou outros destinos finais, podemos encontrá-los em meio a povoados, beirando estradas, dentro de cidades, atravessando leitos de rios, lagoas, perto de áreas de preservação ambiental, entre outros. Nesse sentido, a fim de reduzir os riscos associados a falhas em gasodutos, o processo de dimensionamento dos números de válvulas é regulado, sendo essas, imprescindíveis para o processo de bloqueio e isolamento de áreas afetadas.

Neste artigo, a empresa sob estudo é responsável pelo perfeito abastecimento de gás natural em um malha de gasodutos. Dentro desse contexto, identificou-se nessa malha, como projeto piloto inicial, uma válvula de bloqueio crítica, cuja falha causaria danos bastante significativos (ver dados de falhas dessa válvula na tabela 1).

	<i>Tipo</i>	<i>Parâmetros</i>
$f_x(x)$	weibull	$\beta=1,8$ $\eta=1800$
$f_h(h)$	Exponencial	$\lambda=1/90$

Tabela 1 – Parâmetros associados às distribuições

Para esse tipo de válvula, testes ou inspeções geralmente são feitos. Atribuindo-se alguns valores ilustrativos para a aplicação do modelo, foram parametrizados os tempos (em hora) e os custos associados ao modelo proposto (ver tabela 2).

<i>Custos</i>	$C_i=13$	$C_r=25$	$C_f=425$
<i>Tempos</i>	$d_i=2$	$d_m=8$	$d_b=20$

Tabela 2 – Custos e tempos associados às ações de manutenção

Foram eleitos os tempos múltiplos de 15 dias, como sendo as alternativas de tempos ideais para se fazer as inspeções. Observa-se que, dada as características da função custo e da função disponibilidade, matematicamente essa consideração não causa impactos significativamente negativos, porém imputa uma facilidade gerencial bastante grande, uma vez que na prática o conjunto de tempos é discreto.

Alternativas de Tempo T												
15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195
210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390

Tabela 3 - Alternativas

Uma vez definidas as alternativas, essas foram avaliadas em cada um dos critérios (Custo e Disponibilidade), conforme pode ser visto na tabela 4.

Alternativas de Tempo T	Custo C(T)	Disponibilidade A(T)	Alternativas de Tempo T	Custo C(T)	Disponibilidade A(T)
15	0,80714	0,875	210	0,22554	0,953
30	0,45846	0,931	225	0,22579	0,95
45	0,34198	0,95	240	0,2261	0,948
60	0,2898	0,958	255	0,22642	0,945
75	0,26243	0,962	270	0,22674	0,942
90	0,24682	0,964	285	0,22702	0,939
105	0,23759	0,965	300	0,22727	0,936

120	0,23206	0,964	315	0,22747	0,932
135	0,22878	0,963	330	0,22762	0,929
150	0,22691	0,962	345	0,22771	0,926
165	0,22591	0,96	360	0,22776	0,923
180	0,22548	0,958	375	0,22776	0,92
195	0,2254	0,956	390	0,22771	0,916

Tabela 4 – Performances das Alternativas nos critérios

Conforme pode ser observado, há conflitos no desempenho dos critérios. Alternativas com os melhores desempenhos no critério custo, não correspondem as alternativas com os melhores desempenhos no critério disponibilidade. Na prática isto significa que disponibilidade muito alta é conseguida a um custo bastante elevado. Nesse sentido, a questão fundamental é observar alternativas que tenham bom desempenho nos dois critérios e que estejam mais bem alinhadas as preferências do decisor em questão. Nesse sentido, lança-se mão do método PROMETHE II, conforme descrito na seção 4.1.

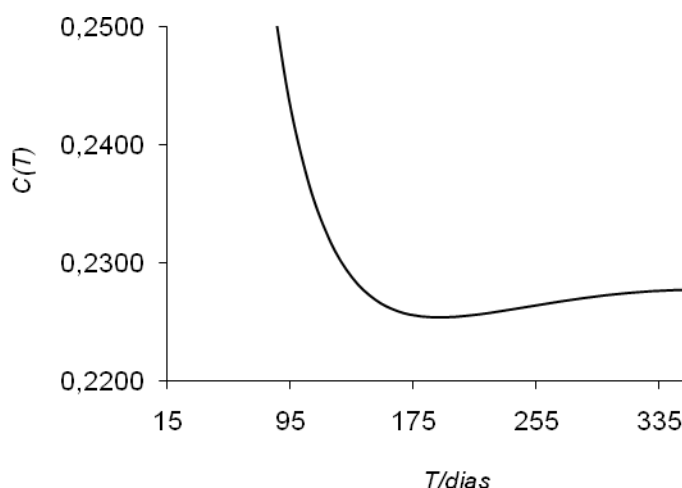


Figura 1 – Comportamento da função custo para o conjunto de alternativas

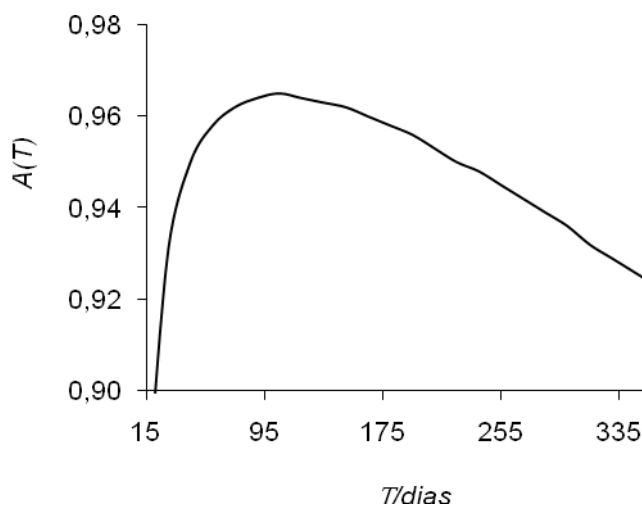


Figura 2 – Comportamento da função disponibilidade para o conjunto de alternativas

Seguindo-se os passos do método PROMETHEE, o decisor estabelece as funções de preferências, bem como os pesos de cada critério, como podem ser vistos na tabela 5.

Critérios	Função	Parâmetros	Peso
$C(T)$	<i>Critério Usual</i>	----	0,37
$A(T)$	<i>Linear</i>	$p\ 0,01; q=0,002$	0,63

Tabela 5 - Parâmetros associados aos critérios

Resultado da etapa de exploração das relações de sobreclassificação criadas, o fluxo líquido é usado para ranquear as alternativas de tempo (ver tabela 6).

Alternativas de Tempo T	$\phi(T)$	Alternativas de Tempo T	$\phi(T)$
15	-1	210	0,4400
30	-0,6680	225	0,3316
45	-0,2604	240	0,2315
60	0,0306	255	0,1388
75	0,1705	270	0,0494
90	0,2316	285	-0,0728
105	0,2801	300	-0,1591
120	0,2908	315	-0,2674
135	0,3078	330	-0,3443
150	0,5553	345	-0,4422
165	0,6265	360	-0,5550
180	0,6523	375	-0,5991
195	0,6126	390	-0,5808

Tabela 6 - Fluxos líquidos das alternativas

Pela representação gráfica apresentada abaixo na figura 3, é possível obter maior clareza do comportamento para a escolha das opções de tempo, onde a maximização do fluxo líquido corresponde à melhor solução. No presente estudo de caso, como pode ser verificado no

gráfico abaixo, a maximização do fluxo líquido ocorre para $T=180$ dias. Sendo assim, caracterizando a melhor escolha dentro da preferência do decisor ilustrado nesse trabalho.

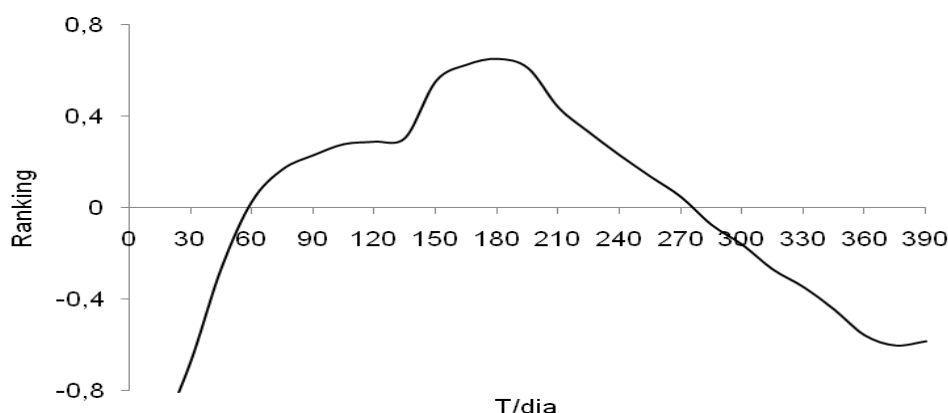


Figura 3 – Fluxo líquido das alternativas em função das opções de tempo para inspeção

O ordenamento dos valores do fluxo líquido obtém os ranques das alternativas, como pode ser visto abaixo:

Alternativas de Tempo T	$\phi(T)$	Alternativas de Tempo T	$\phi(T)$
180	0,6523	270	0,0494
165	0,6265	60	0,0306
195	0,6126	285	-0,0728
150	0,5553	300	-0,1591
210	0,4400	45	-0,2604
225	0,3316	315	-0,2674
135	0,3078	330	-0,3443
120	0,2908	345	-0,4422
105	0,2801	360	-0,5550
90	0,2316	375	-0,5991
240	0,2315	390	-0,5808
75	0,1705	30	-0,6680
255	0,1388	15	-1

Tabela 7 – Alternativas ordenadas

Pode-se observar que, a melhor alternativa não corresponde nem a maior disponibilidade, nem tão pouco ao menor custo. Quando observamos as melhores soluções para cada critério, percebemos que tal opção não leva a melhor escolha global. Por exemplo, ressaltando apenas o critério disponibilidade, onde sua melhor opção é seu valor máximo, fica claro que o mesmo não ocorre para o custo, ou seja, optando pela máxima disponibilidade, o custo decorrente desta política é alto. Deste modo, a otimização de um único critério, seja a maximização da disponibilidade ou a minimização do custo, não é satisfatório. Nesse sentido, para a definição da melhor das opções o ranque foi construído observando-se as preferências do decisor.

Observou-se também que variações dos valores do peso acarretam mudanças na composição das melhores alternativas, o que reforça que não há um melhor conjunto de alternativas para todos os casos, bem como a relevância do papel do decisor, uma vez que é este quem vai definir os pesos que definirão as alternativas mais bem avaliadas. Sendo assim, reitera-se que a abordagem multicritério é bastante apropriada para tais ocasiões.

6. Conclusões

O presente trabalho enfatizou a necessidade de modelos mais apropriados para o contexto de serviço, pois essa área ainda se encontra um pouco mais defasada em relação à realidade industrial, no que diz respeito a modelos de manutenção. Com esse intuito, particularidades do sistema foram amplamente discutidas, e assim, um modelo multicritério foi proposto dentro do contexto de manutenção de gasodutos, com o objetivo de alcançar a melhor política de inspeções das válvulas de bloqueio, levando em consideração dois critérios, custo e disponibilidade.

O sistema de distribuição de gás natural foi utilizado para ilustrar a aplicabilidade do modelo e sua eficiência. Chegando assim a resultados bastante satisfatórios, observando assim a grande importância da utilização de modelos multicritério para a escolha da melhor política de manutenção dentro do contexto de serviços, como já é aceito na produção de bens.

Pôde-se alcançar alternativas com desempenhos mais equilibrados em termos dos critérios custo e disponibilidade, quando comparado com modelos que levam em conta um único critério. Na distribuição e fornecimento de gás, ou seja, na prestação do serviço, operações de manutenção não podem ser baseadas em apenas um único fator, pois se estaria beneficiando um aspecto dentro do sistema em detrimento de outro. Por exemplo, levando em consideração apenas o fator custo, poder-se-ia obter graves consequências com relação à disponibilidade do sistema. Pois, no intuito de minimizar o custo, menos inspeções são realizadas e falhas tendem a surgir. Logo, a medida tomada seria totalmente ineficiente e negativa para os resultados globais.

7. Agradecimentos

Parte deste trabalho foi suportado pelo IPSID e pelo CNPq.

Referências

- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S.** Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. 1ª edição. Recife: Universitária, 2003.
- ANTAKI, G. A.** Piping and Pipeline Engineering. Design, Construction, Maintenance, Integrity and Repair. Aiken, South Carolina, U.S.A, 2003.
- BRANS J. P.; MARESCHAL, B.** PROMETHEE Methods. In: Figueira, J; Greco, S.; Ehrgott, M. (ed.). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. USA, Springer, cap 5, 163-189, 2005.
- CAVALCANTE, C. A. V. ; SCARF, P. A ; ALMEIDA, A. T.; DE SILVA, C.** A two-phase inspection policy for a single component preparedness system with a mixed time to failure distribution. In: ESREL 2009, Praga, 2009.
- CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T.** Modelo Multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. v. 25, n. 2, p. 279-296, Scielo Brasil. 2005.
- CHRISTER, A.H.; WANG, W.** 1995. A delay-time based maintenance model for a multi-component system. IMA Journal of Management Mathematics 6(2), 205-222, 1995.
- JIA, X.; CHRISTER, A. H.** A periodic testing model for a preparedness system with a defective state. IMA Journal of management 13, 39-49, 2002.
- LOURENCO, S. R.** Gás Natural: Perspectivas e Utilização. Universidade de Campinas, 2003.
- SCARF, P. A ; CAVALCANTE, C. A. V.** Mixed maintenance policies for mixed items. In: OR50 Annual Conference, 2008, York. OR50 Annual Conference. UK, York, 2008.



SCARF, P. A ; CAVALCANTE, C. A. V. ; DWIGHT, R. W. ; GORDON, P. An age-based inspection and replacement policy for heterogeneous itens. IEEE Transactions on Reliability, v. 57, p. 1-15, 2009.

SCARF, P. A ; CAVALCANTE, C. A. V. ; DWIGHT, R. W. ; GORDON, P. A hybrid age-based maintenance policy for heterogeneous items. In: ESREL 2008, Valencia, 2008.