

UTILIDADE MULTIATRIBUTO ADITIVA NO DIMENSIONAMENTO DE SOBRESSALENTES

Cristiano Santos Lúcio de Melo

Universidade Federal de Pernambuco - PPGEP/UFPE
Cx. Postal 7462, Recife -PE, 50.720-970, crismelo@npd.ufpe.br

Rogério Augusto Coelho Fernandes

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF

Adiel Teixeira de Almeida

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / Universidade Federal de Pernambuco -
PPGEP/UFPE

Cx. Postal 7462, Recife -PE, 50.720-970, aalmeida@npd.ufpe.br; aalmeida@elogica.com.br

Abstract

A decision model for spares provisioning is proposed. This model is based on decision theory integrated with Multi-Attribute Utility Theory. Two criteria are accounted for: risk and cost. Both criteria are combined through a multi-attribute utility function. This allows the decision maker's preference modelling. The number of spares recommended optimises the mean utility function representing both criteria. Constructing aspects are considered, including a numerical application to demonstrate the use of the model.

Área - Pesquisa Operacional

Key words - Spare parts provisioninhg - Multi-attribute Utility Function - Reliability

1 - INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta parte de um estudo relativo ao problema de dimensionamento de sobressalentes. Este problema ocorre dentro do contexto do Planejamento da Manutenção de Sistemas. O modelo proposto é baseado nos elementos básicos de Teoria da Decisão, aplicado também Teoria da Utilidade Multiatributo.

O modelo de decisão elaborado e aplicado considera dois atributos analisados pelo decisor: o custo envolvido na aquisição de sobressalentes e o risco de quebra de estoque. A quebra de estoque implica numa indisponibilidade do Sistema em operação. Assim, aspectos de confiabilidade e manutenibilidade são considerados na modelagem do problema.

2 - ELEMENTOS DE TEORIA DA DECISÃO

Para a formulação de um problema utilizando a Teoria da Decisão, é necessário que seja considerado os três elementos básicos a seguir:

1. O espaço de ações ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_n$), em que a_i representa uma das possíveis ações a serem adotadas. São os elementos sobre os quais pode-se atuar para que os objetivos sejam alcançados;
2. Um conjunto que representa o estado da natureza, θ . São os elementos sobre os quais não se tem controle, mas que afetam as conseqüências;
3. E por último, um conjunto que representando as conseqüências da decisão adotada pelo decisor. Este conjunto é expresso pela função utilidade ou pela função perda. A função utilidade do decisor é representada por $u(a_i, \theta)$ e a função perda por $L(a_i, \theta)$. A função utilidade $u(a_i, \theta)$ é obtida através de um procedimento de elicitacão que permite a elaboracão da estrutura de preferências do decisor com respeito aos valores do estado da natureza, θ . Sendo usualmente decisão a função utilidade $u(a_i, \theta)$. mais utilizado nos estudos de decisão.

Portanto o problema da decisão consiste em escolher a açã a_i que maximiza a $u(a_i, \theta)$. Para a realizacão deste processo de maximizacão é necessário que se tenha o máximo de conhecimento sobre o estado da natureza. Dentre os critérios existentes será utilizado para a maximizacão da $u(a_i, \theta)$, o método Bayesiano. (Smith, 1988)

3 - ELEMENTOS DE TEORIA DA UTILIDADE MULTIATRIBUTO

A Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT - Multiple Attribute Utility Theory) é a técnica mais utilizada pelos profissionais que atuam na área da utilidade multiatributo, em problemas de decisão. Esta teoria é baseada em um axioma fundamental em que o decisor tenta maximizar uma função utilidade agregando todos os diferentes pontos de vistas que são tomados dentro de determinadas consideracões, de forma inconscientemente (Vincke, 1992).

Em outras palavras, caso o decisor seja questionado a respeito de suas preferências, o mesmo apresentará respostas coerentes com um certo desconhecimento da função utilidade em estudo. Assim, parte das atribuições dos pesquisadores na área é de tentar estimar a função analítica que representa a utilidade do decisor para determinado problema através de questões bem elaboradas (Keeney e Raiffa, 1976).

Em estudos desenvolvidos com aplicacão da utilidade multiatributo são considerados alguns elementos essenciais para sua estruturacão. O primeiro e o mais importante dos elementos, são os atributos a serem o foco do estudo, sendo dois ou mais, se tratando da utilidade multiatributo. O elemento seguinte está relacionado com o anteriormente apresentado, é o espaço de conseqüência de interesse do decisor a ser estudado.

Por fim a função utilidade do decisor é elaborada através do espaço consequência dos atributos em estudo, bem como, da estrutura de preferência do decisor.

Basicamente a teoria da utilidade preocupa-se em estudar dois tipos de problemas:

1. Quais as propriedades que devem as preferências do decisor apresentar em ordem para que seja possível a representação das mesmas por uma função utilidade com uma dada forma analítica;
2. Como podem tais funções serem elaboradas e como podem os parâmetros a serem estimados das funções pertencerem a forma analítica escolhida?

Alguns dos principais e mais importantes conceitos desenvolvidos na área da teoria da utilidade multiatributo podem ser ilustrados com um problema envolvendo dois atributos, como se propõem este trabalho. Problemas com mais de dois atributos tornam o estudo muito mais complexo proporcionando uma redução bastante acentuada da percepção do decisor com respeito ao processo de eliciação da função utilidade. Podendo o mesmo apresentar inconsistências durante o processo, resultando portanto na obtenção de uma função que não representa a sua real estrutura de preferências.

O procedimento para eliciação das funções de utilidades multiatributo apresenta as mesmas idéias relevantes e aplicadas em um procedimento unidimensional, de um único atributo. A seqüência para a determinação de uma função utilidade pode ser descrita em cinco etapas (Keeney e Raiffa, 1976):

1. Introduzir as terminologias e idéias a serem utilizadas durante todo o processo de eliciação;
2. Identificar as relevantes suposições de independência entre os atributos que irão compor a função utilidade multiatributo;
3. Inferir as funções de utilidades condicionais dos respectivos atributos ou curvas de isopreferência;
4. Inferir as constantes de escalas que compõem a função utilidade multiatributo;
5. Checar o resultado obtido através de testes de consistência e de repetição.

A primeira etapa acima mencionada consiste em familiarizar o decisor com a metodologia a ser aplicada no processo de eliciação. É realizada após toda uma preparação junto ao decisor para que o mesmo possa entender todo o procedimento, assim como estar motivado para participar do mesmo.

A etapa referente a independência tem por objetivo verificar a existência de interdependência entre os atributos segundo a preferência do decisor, ou seja checar se um atributo é independente do outro e vice-versa. Pois tal comprovação torna o processo de eliciação menos complexo, devido a certas propriedades e características comuns as funções utilidade Aditiva, assim denominada as funções que os atributos são interdependentes.

Após a etapa anterior o analista que realiza o processo de elicitación faz a inferência da função utilidade condicional de cada um dos atributos, $u_Y(y)$ e $u_Z(z)$, que vai compor a função utilidade aditiva (Keeney e Raiffa, 1976):

$$u(y, z) = k_Y u_Y(y) + k_Z u_Z(z) \quad (1)$$

O próximo passo é determinar as constantes de escalas, k_Y e k_Z , que compõem a função utilidade aditiva. A idéia básica é obter as constantes através de um sistema de duas equações independentes e duas incógnitas (Keeney e Raiffa, 1976), resultando: $k_Y + k_Z = 1$.

E por último realiza-se o cheque de consistência, existe inúmeros cheques de consistência que podem ser usados para detectar erros que possam existir na função utilidade do decisor. Por erro se entende que a função utilidade inferida junto ao decisor não representa as suas preferências quando testada para exemplos hipotéticos.

Após transcorridas todas estas etapas com sucesso, o analista pode apresentar a função utilidade multilinear que representa a estrutura de preferência do decisor para o problema em estudo.

4 - MODELO DE DECISÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE SOBRESSALENTES

O dimensionamento de sobressalentes é uma questão que apresenta uma importante relevância quando se deseja elaborar o plano de manutenção, pois é a partir da quantidade de sobressalentes que a equipe de manutenção toma suas decisões no planejamento da manutenção.

Um dos fatores que justifica maior atenção ao número de sobressalentes é a sua influência direta no tempo de parada do processo, é a quantidade de sobressalentes que vai definir um maior ou menor tempo de parada ou interrupção em um determinado processo.

A questão do dimensionamento de sobressalentes neste projeto enfoca o problema apenas no segundo período ou fase da vida de um equipamento, que é o período de vida útil do mesmo, onde a taxa de falhas do equipamento permanece inalterada com o passar do tempo, ou seja constante. Pois neste período da vida do equipamento o tipo de falha que ocorre são falhas ocasionais, tendo o usuário que atuar junto do equipamento por intermédio de sua própria equipe de manutenção ou terceira.

Já na terceira e última fase da vida do equipamento, não existe sentido em se estudar o problema do dimensionamento de sobressalentes, pois nesta fase o tipo de falhas que ocorre é devido ao desgaste que os equipamentos apresentam com o tempo. É importante lembrar que nesta fase a taxa de falhas do equipamento é crescente com o tempo, ou seja, a realização de reparo nos mesmos não fará nenhuma diferença. Nesta fase é necessário estudos para o dimensionamento de reposições programadas, ou seja, os estudos devem ser voltados com respeito a manutenção preventiva, o que não é objeto de estudo deste trabalho de pesquisa.

Outro aspecto que deve ser considerado além dos aspectos de confiabilidade citados anteriormente, são os referentes aos fatores tecnológicos dos equipamentos ou sistemas que estejam sendo considerados. O avanço tecnológico pode levar a consequência do fim da

produção de um determinado item, tornando impossível a aquisição de um novo item para repor o estoque.

O tipo de sistema, reparável ou não reparável, para o qual será realizado o dimensionamento de sobressalentes é um fator que deve ser considerado também, já que ambos os sistemas apresentam aspectos que diferenciam as variáveis de cálculo, assim como o procedimento do mesmo.

Este trabalho considera que o dimensionamento de sobressalentes deve ser realizado para cada provável reparo, sendo necessário considerar que o item do sistema é reparável e que logo após a conclusão do reparo devido a uma falha casual, o mesmo retornará as suas condições iniciais de trabalho.

O dimensionamento de sobressalentes para o objeto de estudo deste trabalho considera que a quantidade de sobressalentes é uma função demanda, em outras, em função do número de itens requisitados. Este número de itens requeridos, por sua vez, depende do número de falhas do item, que é em função da confiabilidade do equipamento.

Portanto, o problema a ser estudado está diretamente relacionado com o comportamento que a variável número de falhas apresenta em função do tempo. Como no período de vida útil de equipamento, a taxa de falhas $\lambda(t)$ apresenta um comportamento constante em função do tempo, sendo assim a função confiabilidade representada pela função de probabilidade exponencial. É importante lembrar a independência da falha entre os itens que compõem o sistema. Assim sendo, dentro dessas condições, o comportamento da variável aleatória número de falhas de um sistema é representado pela distribuição de probabilidade de Poisson.

Segundo a literatura, diferentes abordagens podem ser consideradas para o estudo do dimensionamento de sobressalentes. A adotada inicialmente consiste no dimensionamento da quantidade de sobressalentes que atenda a um nível de manutenção (Sheikh e Callom, 1991; Kostic e Pendic, 1990), sendo esta abordagem estendida para sistemas modularizados (Vujosevic e Petrovic, 1990; Kim e Shin, 1996).

A consideração do custo como fator a ser minimizado (Vujosevic e Petrovic, 1990; Sheikh e Callom, 1991; Kim e Shin, 1996) ou também como fator restritivo (Goldman, 1977), também é citada. Uma outra abordagem apresentada pela literatura é o uso do conhecimento subjetivo utilizado no dimensionamento de sobressalentes (Petrovic e Senborn, 1988; Petrovic e Senborn, 1991; Melo e Almeida, 1997).

5 - DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MODELO DE DECISÃO

A abordagem objeto de estudo deste trabalho de pesquisa, que desenvolve uma função utilidade multiatributo que agrega dois atributos. Um dos atributos a ser adotado é o custo C . O segundo critério é o risco α de quebra no estoque. Esta combinação resultará na função utilidade: $u(C, \alpha)$. Portanto a decisão neste procedimento consiste em se determinar os valores de custo e risco α , que serão combinados em uma única função utilidade multiatributo. Sendo a solução nesta abordagem obtida pela maximização de $u(C, \alpha)$, que se dá pela escolha do número de sobressalentes q .

O critério Bayesiano, consiste em escolher a ação a_i que apresente a máxima $u(a_i, \theta)$ esperada em função de $\pi(\theta)$. Obtendo-se portanto a formulação a seguir:

$$\text{Max}_{a_i} \int_{\theta} u(a_i, \theta) \pi(\theta) d\theta \quad (2)$$

A expressão na integral representa o valor esperado de $u(a_i, \theta)$. Como resultado desta tem-se os valores de utilidade atribuídos pelo decisor para as diversas opções de θ , ponderadas pela probabilidade de sua ocorrência $\pi(\theta)$. Portanto para cada ação a_i avalia-se este valor esperado, escolhendo-se aquele que apresente o maior valor.

5.1 - Modelo de Decisão

A seguir é apresentado o modelo de decisão a partir de estudos anteriores (Almeida, 1996). Em seguida uma aplicação para ilustrar o uso do modelo.

O estado da Natureza θ consiste na confiabilidade do Sistema e na manutenibilidade da estrutura de manutenção. O sistema é assumido seguir o modelo de falhas exponencial com taxa de falhas λ , a qual não conhecida como certeza. Assim, tem-se a possibilidade de se obter o conhecimento a priori $\pi(\lambda)$. Em termos de manutenibilidade assume-se que o comportamento pode ser representado pelo valor médio de tempo para reparo, assumido ser conhecido e constante, e representado por r .

O conjunto de ações neste problema está relacionado a quantidade de sobressalentes q a ser adquirido e estocado. Assim, para desenvolver (2), considera-se o valor esperado de $u(a_i, \theta)$, representado por $E_{\lambda} \{U(\lambda, q)\}$:

$$E_{\lambda} \{U(\lambda, q)\} = \int_{\lambda_0}^{\lambda_m} U(\lambda, q) \pi(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

As consequências no Problema são representadas pelo risco α e pelo custo total C . Tem-se $C = qC_u$, onde C_u é o custo unitário relativo aos sobressalentes.

Considerando o modelo exponencial para confiabilidade do sistema tem-se

$$\alpha = \Pr\{x > q\} = 1 - \Pr\{x \leq q\} = 1 - \sum_{j=0}^q \frac{\exp(-\lambda r) (\lambda r)^j}{j!} \quad (4)$$

Para simplificar:

$$\alpha = 1 - \exp(-\lambda r) \psi \quad (5)$$

$$\psi \equiv \sum_{j=0}^q \frac{(\lambda r)^j}{j!}$$

A partir da aplicação de procedimentos de elicitación de função utilidade obtém-se a função utilidade para $U(\alpha, C)$, onde o decisor apresenta suas preferências em relação às conseqüências α e C .

$$\text{Observa-se que } U(\lambda, q) = U(\alpha, C), \text{ se } \alpha = [1 - \exp(-\lambda r)\psi] \text{ e } C = qC_u \quad (6)$$

A solução é obtida através de (2) aplicando-se (3) que se transforma em (7) a partir de (6):

$$E_{\lambda} \{U(\lambda, q)\} = \int_{\lambda_0}^{\lambda_m} \{U(\alpha, C)\pi(\lambda)\} d\lambda \text{ se } \alpha = [1 - \exp(-\lambda r)\psi] \text{ e } C = qC_u \quad (7)$$

5.2 - Aplicação do Modelo de Decisão

A seguir é apresentada a aplicação do modelo proposto. O valor de r foi assumido igual a 120 horas. A partir da elicitación de conhecimento a priori em relação a taxa de falhas, obteve-se a distribuição Weibull através de regressão com coeficiente de determinação maior do que 0,85, cujo resultado é apresentado a seguir:

$$\pi(\lambda) = \frac{B}{A} \left[\frac{\lambda}{A} \right]^{B-1} \exp \left[-\left(\frac{\lambda}{A} \right)^B \right] \quad (8)$$

$$A = 18,06 \times 10^{-4}; B = 1,68; \lambda_0 = 1,48 \times 10^{-4}; \lambda_m = 6 \times 10^{-3}$$

O custo foi estimado de modo que se obteve $C_u = R\$ 800,00$.

Na modelagem de preferências obteve-se:

$$U(\alpha) = \exp(-A_1\alpha)$$

$$U(C) = \exp(-A_2C)$$

$$U(\alpha, C) = K_1U(\alpha) + K_2U(C) = K_1\exp(-A_1\alpha) + K_2\exp(-A_2C) \quad (9)$$

Os valores numéricos são: $A_1 = 16$; $A_2 = 0,001$; $K_1 = 0,4$; $K_2 = 0,6$.

Substituindo os resultados acima em (7), tem-se:

$$E_{\lambda} \{U(\lambda, q)\} = K_1 \int_{\lambda_0}^{\lambda_m} \exp[-A_1[1 - \exp(-\lambda r)\psi]]\pi(\lambda)d\lambda + K_2 \exp(-A_2qC_u) \quad (10)$$

A solução foi obtida através de integração numérica de modo que o número de sobressalentes maximize $E_{\lambda} \{U(\lambda, q)\}$, é $q = 0$.

6 - CONCLUSÕES

O artigo apresenta resultados no tratamento do problema de dimensionamento de sobressalentes considerando a modelagem de duas conseqüências: o risco de quebra no estoque e o custo associado a decisão a ser adotada. Para tal modelagem é aplicada uma

função utilidade aditiva, além de considerar aspectos de aversão ao risco na quantificação do risco de quebra de estoque e da variável custo.

Os resultados numéricos são baseados em estudo de caso conduzido em um sub-sistema de uma Empresa de energia elétrica. Neste caso, a avaliação dos riscos inerentes implicam numa avaliação da indisponibilidade do sistema. Este tipo de variável dificilmente pode ser avaliada através de métodos mais clássicos considerando apenas o equivalente, em custo, de perda de produção. Na área de serviços a indisponibilidade tem aspectos subjetivos de grande relevância, o que pode ser avaliado de forma consistente através da Teoria da Utilidade.

O trabalho está sendo desenvolvido de um projeto de pesquisa onde vários outros aspectos estão sendo considerados. Dentre estes podem ser destacados diferentes situações na modelagem de preferências do decisor refletidas na estrutura da função utilidade, além de diferentes condições para os equipamentos analisados, ou ainda considerando incertezas associadas à manutenibilidade.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, A. T. de (1996); Multicriteria for Spares provisioning Using Additive Utility Functions. II International Conference on Operational Research for Development; 26-28 August 1996; Rio de Janeiro, RJ, pp 1414-1418
- SMITH, J. Q.; (1988) Decision Analysis - A Bayesian Approach. Chapman and Hall
- CARTER, A. D. S. ; (1986) Mechanical Reliability. Macmillan Education LTD, ISBN: 0-333-40586-2.
- GOLDMAN, A. S.; SLATTERY, T. B.; (1977) Maintainability: A Major Element of System Effectiveness. Robert E. Krieger Publishing Company, ISBN: 0-88275-292-8.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.; (1976) Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. John Wiley & Sons.
- KIM, J.; SHIN, K.; YU, H.; Optimal algorithm to determine the spare inventory level for a repairable - item inventory system. Computer Ops Res. 23 (1996) 289-297.
- KOSTIC, S.; PENDIC, Z.; Optimization of spare parts in multilevel maintenance system. Engineering Cost and Production Economics, 20 (1990) 93-99.
- MELO, C. S. L. d.; SOUSA, J. d. J. L.; ALMEIDA, A. T. d.; Conhecimento a priori no dimensionamento de sobressalentes baseado no risco de quebra de estoque. Anais XXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 1 (1997) 58-59.
- PETROVIC, D.; PETROVIC, R.; SENBORN, A.; VUJOSEVIC, M.; A microcomputer expert system for advising on stocks in spare parts inventory systems. Engineering Cost and Production Economics, 19 (1991) 365-370.
- PETROVIC, R.; SENBORN, A.; VUJOSEVIC, M.; A new adaptive algorithm for determination of stocks in spare parts inventory systems. Engineering Cost and Production Economics, 15 (1988) 405-410.
- SHEIKH, A. K.; CALLOM, F. L.; MUSTAFA, S. G. H.; Strategies in Spare parts management using a reliability engineering approach. Engineering Cost and Production Economics, 21 (1991) 51-57.
- VINCKE, P.; (1992) Multicriteria decision-aid. John Wiley & Sons. ISBN: 0-471-93184-5.

VUJOSEVIC, M.; PETROVIC, R.; SENBORN, A.; Spare parts inventory planning for redundant systems subject to a phased mission. *Engineering Cost and Production Economics*, 19 (1990) 385-389.