

# MÓDULO DE EXTRAÇÃO DE EVENTOS EM ASSINATURAS DE POTÊNCIA DE VÁLVULAS MOTO – OPERADAS USANDO UM SISTEMA ESPECIALISTA

Helena Guimarães Perrenoud e Aucyone Augusto da Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes 2.242  
05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Um programa de manutenção preditiva em válvulas moto-operadas (MOV) é realizado todos os anos em Angra I tendo, como objetivo, aumentar a segurança e a confiabilidade da usina nuclear, detectando, mais cedo, falhas e permitindo o diagnóstico da degradação das válvulas. As atividades de manutenção preditiva anuais verificam várias MOV tipo checagem de balanço, gaveta e globo. A análise dos dados executada permite, por exemplo, indicar que algumas válvulas deveriam ser reparadas, isso é, deveriam ser alteradas a chave de torque e de limitorque. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um programa computacional para selecionar os parâmetros dos eventos característicos ocorridos nas assinaturas de potência do motor em MOV, durante os ciclos fechamento-abertura e abertura-fechamento. Os resultados obtidos do programa computacional são associados a um sistema especialista construído para permitir a identificação dos eventos característicos das MOV. Este trabalho apresenta uma nova abordagem na obtenção das características das assinaturas, conseguindo obter seus reais valores em amplitude de potência e instantes de ocorrência, sem causar atenuação e/ou deslocamento do instante de ocorrência.

**Keywords:** MOV, motor-operated valves, motor power signature analysis, expert system, feature extraction.

## I. INTRODUÇÃO

O monitoramento periódico de vários tipos de válvulas é um importante assunto operacional em plantas nucleares e indústrias de processos. Em plantas nucleares, a correta operação de válvulas moto-operadas (MOV) é essencial para assegurar o bom desempenho de sistemas de segurança e de controle.

Em estudos realizados, foi calculado que em plantas nucleares problemas relacionados com válvulas consomem mais de 30% do orçamento de manutenção anual da indústria[1].

Atualmente são realizados projetos e pesquisas visando a melhoria do monitoramento e métodos de diagnóstico da válvula.

O trabalho desenvolvido apresenta um módulo de extração de eventos característicos das assinaturas de válvulas moto-operadas, como parte de um sistema que pretende diagnosticar, o quanto antes possível, formas de degradação dos equipamentos e permitir que sejam tomadas as devidas providências para evitar falhas nos equipamentos.

## II. VÁLVULAS

As válvulas são dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper o fluxo em uma tubulação. Uma válvula utilizando um sistema de operação

motorizada, é conhecida como válvula moto operada (MOV). A operação pode ser hidráulica, pneumática e elétrica. Este artigo analisa as válvulas com operação motorizada elétrica.

A operação motorizada elétrica é um sistema no qual um motor elétrico aciona o volante da válvula por meio de engrenagens de redução. Seu uso ocorre em válvulas de grandes dimensões, para tornar a operação mais fácil e rápida, e também em válvulas situadas em locais inacessíveis. O dispositivo de atuação ou motor de comando da válvula é chamado de atuador da válvula. A operação automática pode ser conseguida através da ação de molas e contrapesos, integrantes da própria válvula.

As assinaturas das válvulas (tempo versus potência) são mostradas utilizando um sistema de aquisição de dados. O diagnóstico é realizado com base na avaliação das características.

A vantagem do método de análise das assinaturas é a capacidade do método de identificar degradações nas condições do atuador da válvula antes da ocorrência de falhas. Isto faz com que a manutenção preditiva para MOV seja possível. Um programa de manutenção preditiva para MOV inclui uma curva inicial das assinaturas das válvulas, antes de colocá-las em operação (“baseline”) e o levantamento da curva de tendências das assinaturas das válvulas.

A análise das assinaturas atende ao documento anexo à norma “US NRC General Letter 89-10[1]” que traz

uma lista de degradações que todo sistema de diagnóstico precisa identificar.

A Fig. 1 e Tabela 1 mostram a curva característica no domínio do tempo das assinaturas em potência de válvulas tipo gaveta e globo durante o ciclo de abertura-fechamento.

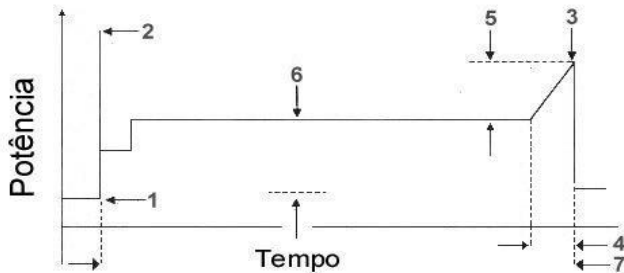


Figura 1. Curva Característica Durante o Ciclo Fechamento-Abertura.

TABELA 1. Características do Ciclo de Abertura-Fechamento

Númer o	Característica	Descritores
1	Início do arranque	Instante da ocorrência
2	Pico do acionamento do motor	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
3	Desligamento da chave de torque	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
4	Tempo de parada da válvula	Valor do intervalo de tempo
5	Margem do tempo de parada da válvula	Valor em potência (altura)
6	Movimentação da haste espiralada	Valor médio em potência (altura), instante inicial e instante final
7	Tempo de operação	Intervalo de tempo entre as ocorrências do número 2 e do número 3

A Fig. 2 e a Tabela 2 apresentam a curva característica no domínio do tempo das assinaturas em potência de válvulas tipo gaveta durante o ciclo de fechamento para abertura.

A curva característica durante o ciclo abertura para fechamento de uma válvula tipo globo tem as mesmas características de uma válvula gaveta. A diferença está na curva característica durante o ciclo fechamento para abertura; em válvulas globo não ocorre o pico do martelo, as demais características são equivalentes a uma válvula gaveta.

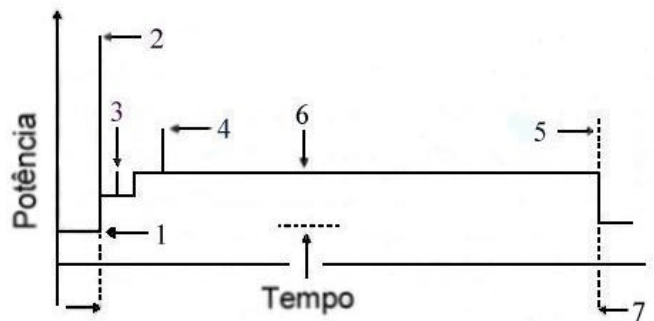


Figura 2. Curva Característica Durante o Ciclo Fechamento-Abertura.

TABELA 2. Característica do Ciclo Fechamento-Abertura

Número	Característica	Descritores
1	Início do arranque	Instante da ocorrência
2	Pico do acionamento do motor	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
3	Pico do "Martelo"	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
4	Pico de ligação ("unseating")	Valor em potência (altura) e Instante da ocorrência
5	Atuação da chave limite	Instante da ocorrência
6	Movimentação da haste espiralada	Valor médio em potência(altura), instante inicial e instante final
7	Tempo de operação	Intervalo de tempo entre as ocorrências do número 2 e do número 5

A manutenção de válvulas moto – operadas, como toda a atividade de manutenção visa a eliminação de defeitos e aumento da capacidade produtiva através da redução de falhas na operação. Atualmente uma implementação com sucesso de uma estratégia de manutenção leva em conta três enfoques: a manutenção preventiva, a preditiva e a proativa. A correta informação da condição da máquina dada frequentemente por manutenção preditiva acarreta na necessidade de ações de manutenção preventiva e de manutenção proativa e isto ajuda a reduzir o desempenho excessivo de ações de manutenção que estão presentes em um programa puramente preventivo.

A manutenção preditiva emprega testes periódicos que procuram analisar tendências durante a operação da válvula. Permite diagnosticar formas de degradação dos equipamentos.

A manutenção das MOVs de Angra I é realizada todo o ano durante a parada anual para recarregamento do combustível do reator e segue um programa de manutenção preditiva seguindo as diretrizes básicas da norma NRC/GL 89-10. Dados elétricos e mecânicos são registrados durante

a partida da válvula com um atuador[2]. O sistema de controle do motor elétrico é realizado no local onde a válvula encontra-se e não no Centro de Controle de Motor (MCC). O sistema é dividido em três partes: aquisição e armazenamento de dados e análise do sinal.

### **III. MÉTODOS UTILIZADOS EM TRABALHOS ANTERIORES PARA ANÁLISE DE ASSINATURA**

O sistema Movex[1] desenvolvido na Universidade do Tennessee, entre 1989 e 1991 para diagnóstico, utilizou análise de corrente e algoritmos de reconhecimento de padrões.

O sistema PowerMov[3] desenvolvido pela UTK e Duke Energy Corporation em 1996, utilizou análise de potência e um sistema especialista fuzzy, além de incorporar o sistema de reconhecimento do MOVEX. Uma nova versão do sistema PowerMov[4] foi implementada. Este sistema utilizou o sistema para aquisição de dados da Liberty, o sistema de reconhecimento do MOVEX, sistema especialista fuzzy do PowerMov original e ampliou a análise de assinatura em potência para diferentes tipos de válvulas.

Os sistemas MOVEX original, MOVEX II, PowerMov original e PowerMov II, já descritos, utilizaram para a extração das formas de onda primitivas (picos, degraus e rampas) dois algoritmos de detecção de picos e um sistema de filtro não linear para detecção de degraus e rampas. Segue no decorrer deste item à descrição do método proposto por Eklund[1]. Para a detecção de picos foi utilizado o algoritmo de Marshall[5], algoritmo este insensível ao ruído do sinal. Os picos são detectados sem nenhuma filtragem ou suavização do sinal, a fim de evitar a distorção do sinal. Esse algoritmo também fornece uma descrição dos picos quanto ao seu instante de ocorrência, altura absoluta, início e término dos picos. O algoritmo de Marshall detecta picos e vales.

Na extração das primitivas degraus e rampas das assinaturas das válvulas foi utilizada a decomposição de Love and Simaan[1]. Esta decomposição também detecta picos usando uma lógica limiar. O melhor desempenho foi obtido com Marshall. A detecção dos picos é realizada com um filtro mediano através da diferença entre o sinal original e o sinal obtido do filtro.

Na saída do filtro mediano é aplicado o filtro de detecção de rampa. Esse filtro substitui toda amostra da entrada por componentes de baixa frequência. A rampa é determinada por ajuste dos mínimos quadráticos nos pontos vizinhos da amostragem. A computação do filtro de rampa é intensa.

Na saída do filtro para detecção de rampa opera o filtro para calcular a média do sinal horizontal. O propósito deste filtro é extrair segmentos positivos e negativos correspondentes a rampas do sinal original. O filtro substitui toda amostra de sua entrada pela média calculada de todas as amostras no segmento, incluindo a duração do segmento quanto a sua extensão horizontal e do valor de toda amostragem no segmento vertical.

A diferença entre a saída do filtro para detectar a rampa e a saída do filtro para cálculo da média horizontal é a entrada para detectar degraus. A lógica para detectar degraus é basicamente um integrador que integra os impulsos que excedem um limiar. Os instantes da ocorrência e amplitudes são armazenados. O instante da ocorrência do degrau é definido como o instante do valor máximo do impulso correspondente na lógica da entrada do sinal.

A lógica para detectar rampa extrai segmentos diferentes de zero do sinal de entrada e armazena seu início, fim e amplitudes.

O método proposto foi testado com assinaturas de corrente do motor obtidas da Performance Technologies, Inc. Foram encontradas algumas dificuldades na extração de certas características, como na extração do pico do martelo, pois sua altura é pequena quando comparada ao nível do ruído e também como na detecção de picos, onde foram encontrados picos adicionais que na verdade eram ruídos. Para tentar resolver a dificuldade na detecção do pico do martelo, primeiro foi localizado o pico do acionamento do motor, em seguida o pico de ligação (“unseating”) com um aumento no limiar de detecção (altura relativa do pico) e depois foi aplicado o detector de picos voltado especificamente para a extração do pico do martelo. Para tentar remover os falsos picos foi utilizado um filtro mediano que causou uma pequena distorção na assinatura, uma suavização nos picos[1].

### **IV. ALGORITMOS E SISTEMA ESPECIALISTA PARA EXTRAÇÃO E RECONHECIMENTO DOS EVENTOS CARACTERÍSTICOS**

Um método computacional de seleção de parâmetros das assinaturas de válvulas moto-operadas foi desenvolvido neste trabalho. Para o reconhecimento (identificação) dos eventos característicos das assinaturas de válvulas moto-operadas é necessário primeiro obter os parâmetros, que serão depois identificados. Para obter esses eventos característicos foram desenvolvidos algoritmos que selecionam parâmetros da assinatura de potência com formas semelhantes a picos, vales e movimento da haste. A identificação dos eventos característicos de assinaturas das válvulas na realidade é um reconhecimento de padrões. Os picos de uma forma de onda temporal são frequentes e isto é sua mais óbvia e útil característica. Para o diagnóstico de válvulas moto-operadas são necessárias determinações das reais características das assinaturas de potência do motor, ou seja, o valor de amplitude e o exato instante da ocorrência. A dificuldade na detecção de picos está em determinar os que são os picos reais e os que são apenas ruídos. Uma abordagem é a remoção de ruídos e a localização dos picos através de uma série de transformações, ou seja, empregando-se uma extração de características. A abordagem adotada neste trabalho baseia-se na definição de pico que é insensível ao ruído do sinal. Os picos são encontrados sem nenhuma suavização, atenuação ou deslocamento do sinal, ou seja sem provocar nenhuma oscilação no sinal e a sua consequência que é

mascarar o estado físico da válvula. O algoritmo de Marshall[1], que foi utilizado em trabalhos anteriores, desenvolvido para a área biomédica, também localiza os picos do sinal sem causar atenuação ou deslocamento.

O segundo algoritmo foi implementado para extração de eventos tipo movimentação da haste espiralada, onde a forma de onda é similar a uma reta durante um intervalo de tempo. Esse algoritmo apresenta como resultado na tela o instante inicial e final de ocorrência da chamada zona plana.

Um terceiro algoritmo extrai a altura e instante em que ocorre um evento semelhante a um pico negativo, chamado de algoritmo de “vales”. Esse é um simples algoritmo para verificar a existência desses valores negativos.

Obtidos os valores dos parâmetros selecionados das assinaturas de potência do motor das válvulas moto-operadas, através dos algoritmos descritos, torna-se necessário identificá-los, a fim de confirmar se os parâmetros obtidos são realmente os eventos característicos das assinaturas das válvulas e identificar qual é o evento. Essa identificação é realizada com um sistema especialista que foi construído para essa finalidade.

Para a análise dos eventos característicos, são necessárias informações de engenharia a respeito dos dados obtidos. Essas informações são as referências do projeto de cada válvula para possibilitar a elaboração de regras do Sistema Especialista.

Como exemplo de regras desenvolvidas para a construção do Sistema Especialista podemos citar a identificação do pico do acionamento do motor, pois é importante para a identificação de outras características que estão baseadas em sua posição relativa. Uma regra possível é: Se a característica é um pico e a amplitude em potência é próxima da referência e também o instante de ocorrência é próximo de zero, então a característica é o pico do acionamento do motor ciclo abertura para fechamento.

Para a obtenção do evento pico do desligamento da chave de torque, uma outra possível regra é: Se a característica é um pico e o instante de ocorrência é próximo da referência e também próximo do final de operação da válvula no ciclo abertura para fechamento, então a característica foi encontrada.

O Sistema Especialista desenvolvido foi escrito na linguagem Visual C++ 6.0 da Microsoft (VC++).

## V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram das paradas P8 e P10 da Usina de Angra I. Os dados que foram utilizados no trabalho foram retirados do software Windaqem de aquisição de dados de Angra I e armazenados em código ASCII.

Para uma visualização dos dados e impressão das curvas foram utilizados dois softwares de análise de dados, Global Lab e Matlab.

O estudo da curva de assinatura de potência resultou na conclusão que existe a necessidade da preservação da morfologia do sinal. Uma filtragem digital

que provoque oscilações no sinal filtrado pode mascarar seu estado físico e às vezes alterá-lo. A abordagem desta pesquisa está totalmente voltada para o domínio do tempo pois melhora a precisão e evita distorções na assinatura, fato que ocorre na abordagem do domínio da frequência.

A Fig. 3 mostra a curva do conjunto de dados S1\_8804B3 e a Fig. 4 mostra a saída do Sistema Especialista testado com o conjunto de dados S1\_8804B3.

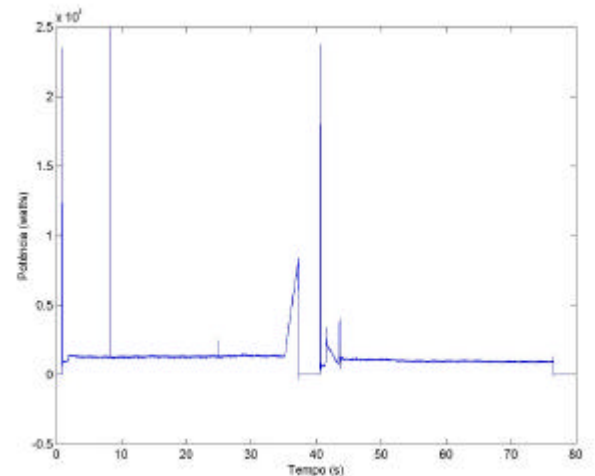


Figura 3. Curva do Conjunto de Dados S1\_8804B3.

Eventos	Potência [watts]	Instante de Ocorrência [s]
Pico do acionamento do motor (A-F)	23532	0,0833
Pico desconhecido (A-F)	24984,9	8,3325
Pico desconhecido (A-F)	2456,4	24,9992
Pico do desligamento chave de torque (A-F)	8495	37,2508
Tempo de operação da válvula [stroke time]		36,3875
Pico [vale] do final de operação (A-F)	-369,1	37,2708
Movimentação da haste (A-F)	1310,39	30,5841
Intervalo de tempo de parada da válvula		1,8521
Pico do acionamento do motor (F-A)	23710	40,6092
Pico do Martelo	3397,7	41,4892
Pico de ligação [unseating]	4030	43,6383
Tempo de operação da válvula (F-A)		36,9733
Pico [vale] do final de operação (F-A)	-89,075	76,5825

Figura 4. Tela de Saída do Sistema Especialista.

Visando uma melhor análise dos resultados obtidos com os algoritmos, apresentamos uma tabela comparativa entre os dados de referências obtidos experimentalmente via Global Lab versão 2.0 (programa para análise de dados) e utilizados nos testes do programa com os resultados obtidos através dos algoritmos. A tabela 3 e 4 permitem uma melhor visualização e calculam a razão dos resultados obtidos entre os algoritmos e os resultados esperados vindos do Global Lab. O conjunto de dados apresentado pertence a uma válvula tipo globo e é mostrada na Fig. 5. A razão é dada pela Eq. (1) a seguir:

$$Razão = \left( \frac{R}{A} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

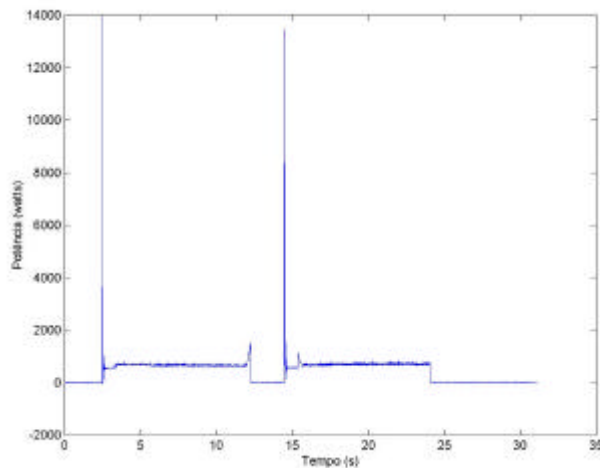


Figura 5. Curva da Assinatura de Potência de uma Válvula Globo.

TABELA 3 - Valores Obtidos em Potência de uma Válvula Globo

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)
	Potência (watts)	Potência (watts)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertura- fechamento	13995	13995	0
Pico do desligamento da chave de torque	1537,7	1537,7	0
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertu-ra para fechamento	18,601	-18,601	0
Pico do acionamento do motor ciclo fechamento- abertura	13462	13462	0
Pico de ligação (“unseating”)	1147,4	1147,4	0
Pico (vale) do final de operação da válvula no ciclo abertura- fechamento	19,769	19,769	0

TABELA 4. Valores Obtidos em Segundos de uma Válvula Globo

Evento	Referência (R)	Algoritmos (A)	Razão (%)
	Instante (segundos)	Instante (segundos)	
Pico do acionamento do motor ciclo abertu-ra - fechamento	2,53667	2,48667	2,0106
Pico do desligamen-to da chave de torque	12,31417	12,2342	0,65365
Pico (vale) do final de operação da vál-vula no ciclo abertu-ra para fechamento	12,26083	12,2592	0,01329
Pico do acionamento do motor ciclo fecha-mento para abertura	14,58667	14,4942	0,63798
Pico de ligação (“unseating”)	15,485	15,4058	0,51409
Pico (vale) do final de operação da vál-vula no ciclo abertu-ra para fechamento	24,04667	24,05	-0,0138

## VI. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para valores em potência não apresentam diferenças quando comparados com os dados extraídos do Global Lab. Os algoritmos mostraram-se efetivos na determinação dos instantes de ocorrência dos eventos.

Os algoritmos desenvolvidos apresentam excelentes resultados para uma frequência de amostragem de 1200 amostras por segundo.

É possível a utilização de um SE para a identificação dos eventos extraídos dos algoritmos e entender sua aplicação no diagnóstico de falhas das válvulas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisas – CNPq e ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN pelo suporte nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] EKLUND, J., and UPADHYAYA, B.R., **Automated Diagnostics of Motor – Operated Valves**, Topical Report, University of Tennessee, Julho. 1990.
- [2] CARNEIRO, A.L.G., **Relatório técnico de atividades da participação na parada P8 da Usina Nuclear Angra I**, IPEN/CNEN-SP, Janeiro.1999.
- [3] GLUMAC, M., **Automated Diagnosis of Motor-Operated Valves using Motor Power Signature Analysis**, Mestrado, The University of Tennessee: Knoxville, Maio.1996.
- [4] SNOWDEN, Scott A., UPADHYAYA, B. R., **Signature Monitoring and Automated Diagnosis of Motor-Operated Valve**, Final Report, University of Tennessee: Knoxville, Dezembro.1997.
- [5] MARSHALL, R.J., **The Determination of Peaks in Biological Waveforms**, Computers and Biomedical Research, 19, pp.319-329; 1986.

## ABSTRACT

A predictive maintenance program for Motor-Operated Valves is performed every year at Angra I Nuclear Power Plant in order to detect early failures of the valves and to diagnosis the valve degradation. The purpose of this maintenance program is to increase the reactor reliability and security. The main predictive maintenance activities are usually performed in the Swing Check-Valves, Gate Valves and Globe Valves. The valves data analysis usually performed during the plant outage allows one to detect any failure and adjust the valves parameters like torque-switch and limitorque. The main purpose of this thesis is to develop a computer program to select the valve events parameter using the valve power signature during the closed-open and open-closed cycles. The results obtained by the developed algorithm are connected to a developed specialist system to perform the valves events identification. An important contribution of this thesis is that the valves signature features are obtained without changing the signal morfology.