



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

DIAGNÓSTICO DE FALHAS DO PONTO DE VISTA ENERGÉTICO: ESTUDO DE CASO DO PROCESSO DA SHELL

Gerônimo Barbosa Alexandre²; Thalys de Freitas Fernandes²; José Nilton Silva³

^{2,3} Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química
E-mails: thalys.fernandes@yahoo.com.br; nilton@deq.ufcg.edu.br

¹ Instituto Federal do Maranhão, Coordenação do Eixo de Controle e Processos Industriais
E-mail: geronimo.alexandre@ifma.edu.br

RESUMO

Este artigo apresenta uma abordagem para diagnóstico de falhas em processos industriais baseada em Análise de Componentes Principais (PCA) auxiliado por um diagnosticador de falhas do ponto de vista energético; a detecção é feita através das estatísticas T^2 e Q ; a identificação é computada verificando a contribuição das variáveis do processo ao modelo PCA no instante da ocorrência da falha e a reconstrução é realizada fazendo a correção do vetor de amostras, usando o valor da amplitude da falha e a direção da falha. A abordagem proposta é aplicada a uma coluna fracionadora de óleo cru (Processo da *Shell*).

Palavras-chave: Detecção e diagnóstico de falhas, Gestão de alarmes, Eficiência energética.

ABSTRACT

This paper presents an approach for fault diagnosis in industrial processes based on Principal Component Analysis (PCA) assisted by a fault diagnostician from the energy point of view; The detection is performed through the statistical T^2 and Q ; identification is computed by checking the contribution of the PCA model process variables at the time of occurrence of the fault and reconstruction is carried out by the sample vector correction, using the value of the amplitude of the fault and the direction of the failure. The proposed approach is applied to a column fractionator of crude oil (Shell process).

Keywords: Detection and fault diagnosis, alarm management, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A detecção precoce da falha pode ajudar a evitar paradas inesperadas, acidentes e diminuir o tempo *start-up* do processo. Em geral quatro tarefas estão envolvidas no monitoramento do processo: (1) detecção da falha, que fornece uma indicação de que algo está errado no processo; (2) identificação da falha, determina onde houve o defeito; (3)

estimativa da falha, que avalia a amplitude da falha; (4) reconstrução da falha, eliminar a falha para que a informação correta seja enviada para o (s) controlador (es) (Alexandre e Lima, 2013).

Um diagnosticador via PCA (*Principal Component Analysis*), pode ser projetado para um sistema que avalie as variáveis energéticas do processo na situação de falhas na unidade

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

industrial, informando ao operador um mapa energético da planta, avaliando a planta não apenas do ponto de vista dos sinais medidos pelos sensores e atuadores, mas sim da energia envolvida no processo.

Esta estratégia emprega estatísticas multivariadas para detecção de falhas, as contribuições das variáveis do processo no instante da ocorrência da falha para seu isolamento, análise do vetor de direção e de sua magnitude tendo em vista a reconstrução dos sinais perdidos.

O objetivo deste trabalho é apresentar e avaliar uma proposta de sistema de diagnóstico de falhas e gerenciamento de alarmes, utilizando a Análise de Componente Principal linear (*PCA – Linear Principal Component Analysis*), e acoplado a um diagnosticador energético.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 1 é feita caracterização da problemática em estudo, as metas traçadas e as contribuições do trabalho. Na Seção 2 é apresentada a metodologia utilizada para consecução dos objetivos propostos. A descrição sucinta da coluna fracionadora da *Shell* é ilustrada na Seção 3. A Seção 4 são apresentados os resultados de simulação obtida da implementação da estratégia proposta quando avaliada ao processo da *Shell* (Dados reais de uma fracionadora

análoga). Finalmente na Seção 5 apresentam-se as conclusões e eventuais trabalhos futuros.

2. METODOLOGIA

A metodologia usada na simulação do sistema de monitoramento de falhas em sensores e atuadores consiste na sequência de passos:

- 1) Escolha do processo a ser monitorado;
- 2) Construção do módulo gerador de falhas; estudo e implementação da estratégia de controle;
- 3) Modelar cada componente do sistema, atuadores, sensores e controladores;
- 4) Implementação das técnicas de detecção, diagnóstico e mitigação de falhas;
- 5) Realizar o balanço energético da unidade;
- 6) Definir as variáveis energéticas a ser monitoradas (diagnosticador energético).

As simulações foram realizadas no Simulink® - Dynamics Systems, do ambiente MatLab®, versão 7.10, usando passo de integração fixo, tolerância de 0.0001, método de integração ODE45-Dormand-Prince solver, duração de 8000 segundos.

3. DESCRIÇÃO DA FRACIONADORA DE ÓLEO PESADO DA SHELL

O modelo de uma coluna fracionadora de óleo cru, conhecido na literatura como *Process Shell*, inicialmente introduzido por Prett e Morari (1987) é apresentado na Figura 1. A coluna fracionadora possui sete saídas ($y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$) e cinco entradas (u_1, u_2, u_3, d_1, d_2). Três dessas entradas (u_1, u_2, u_3) podem ser utilizadas para fins de controle e duas (d_1, d_2) são consideradas perturbações, uma mensurável e a outra não mensurável. Das sete saídas, três (y_1, y_2, y_7) estão envolvidas nos objetivos de controle e as outras quatro (y_3, y_4, y_5, y_6) são consideradas auxiliares (Ansari & Tadé, 2000).

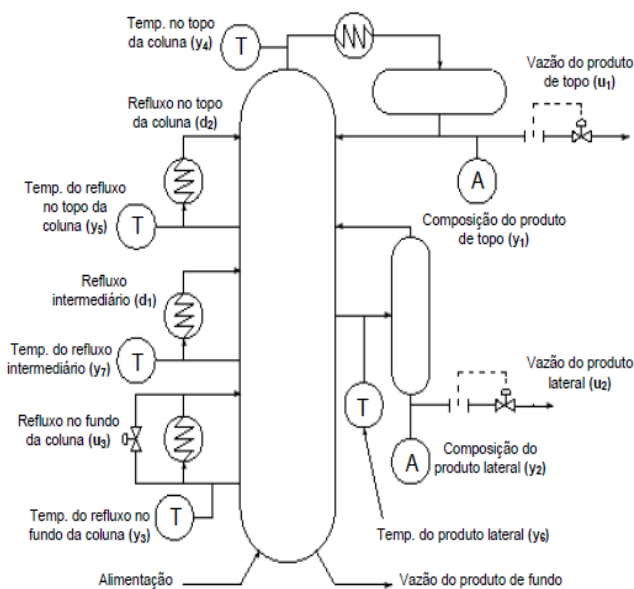


Figura 1: Modelo da fracionadora de óleo pesado.

Fonte: adaptado de Prett & Morari, 1987.

Um controlador preditivo (*MPC - Model Predictive Control*) foi utilizado para controlar as saídas y_1, y_2 e y_7 , manipulando as entradas u_1, u_2 e u_3 . As saídas (y_3, y_4, y_5, y_6), não estão sob ação de controle, mas podem ser monitoradas a partir do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As falhas consideradas no presente trabalho são as abruptas aditivas permanentes, tendo em vista serem mais usuais e deletérias ao processo do que as falhas incipientes. O cenário de falhas é descrito na Tabela 1.

As cartas de controle (estatística T^2 , e SPE) para a coluna fracionadora de óleo cru em condições normais de operação são apresentadas na Figura 2, sendo os limites de controle: $\tau_{lim}^2 = 12,65$ e $SPE_{lim} = 4,96$ os quais foram calculados para um nível de confiança de controle de 95%, (Montgomery, 2004).

Tabela 1: Cenário de falhas nos componentes.

Componente	Tipo de falha	Tempo (s)	Amplitude da falha
Sensor 1 (y_1)	Abrupta: degrau	3000 -8000	+60% no valor de operação normal
Sensor 7 (y_7)	Abrupta: degrau	3000 -8000	+70% no valor de operação normal

A detecção da falha múltipla e simultânea, pelas cartas de controle estatístico pode ser visualizada na Figura 3, a qual ilustra uma violação do limite de controle, sinalizando uma anormalidade.

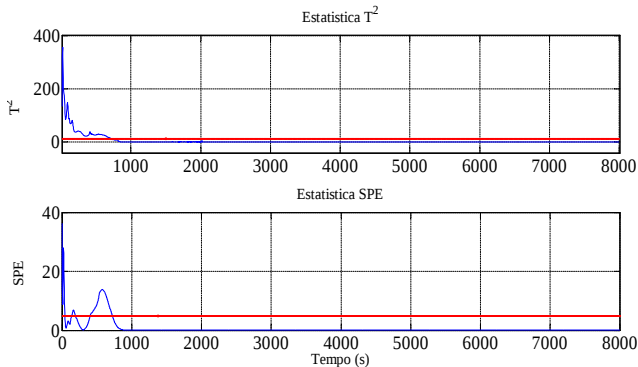


Figura 2: Estatística SPE e T^2 para o processo operando em condições normais.

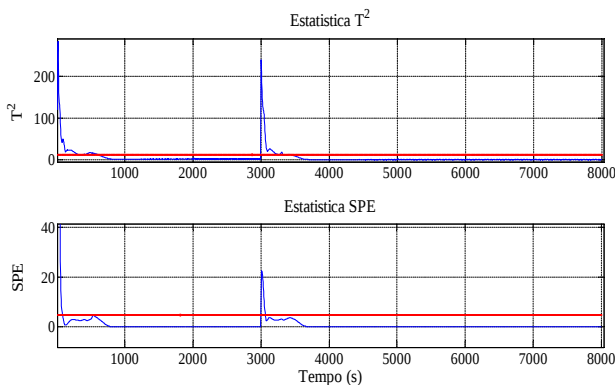


Figura 3: Estatística SPE e T^2 para o processo operando em condições de falhas múltiplas.

O mapeamento de energia consiste em obter gráficos que descrevem o comportamento energético da fracionadora. Tomando como base este mapa energético da unidade, pode-se construir um algoritmo de monitoramento para avaliar os sinais energéticos da unidade na ocorrência da falha, computando a ocorrência do defeito e sua localização.

O diagnosticador energético tem como funções de monitoramento, a entrada de

energia da planta, a energia entregue e a energia consumida pelo processo. Os gráficos das Figuras 4, 5 e 6 ilustram o comportamento do sistema na ótica energético na ocorrência da falha múltipla e simultânea nos analisadores da composição de topo e da temperatura de refluxo da base.

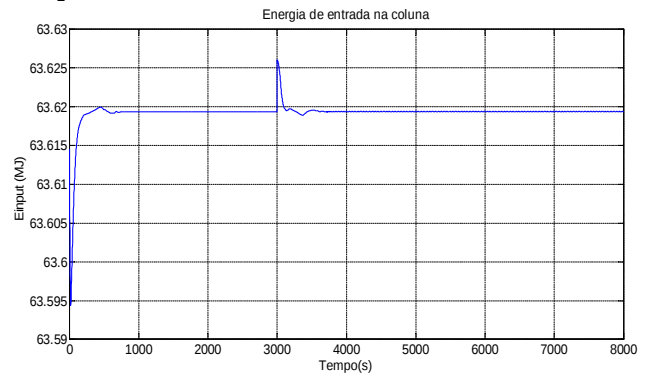


Figura 4: Energia de entrada na fracionadora de óleo pesado da Shell.

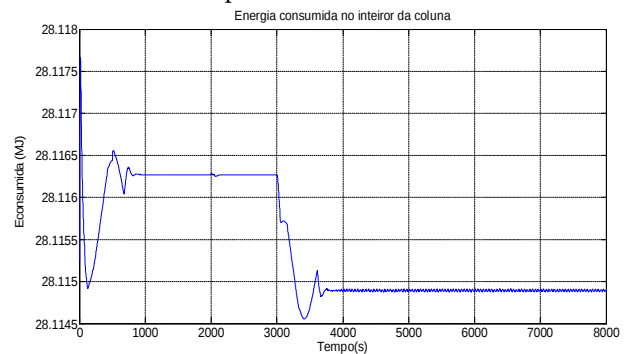


Figura 5: Energia consumida ao longo da fracionadora de óleo cru da Shell.

Analisando os gráficos das Figuras de 4 a 6 percebe-se a propagação do defeito levando a tomada de decisão errada do controlador. Com isso, percebe-se a importância da mitigação da falha ou o controle tolerante, que atuaria minimizando os efeitos da propagação do defeito até a intervenção final do operador após alarme

disparado pelo sistema de supervisão e diagnóstico de falhas.

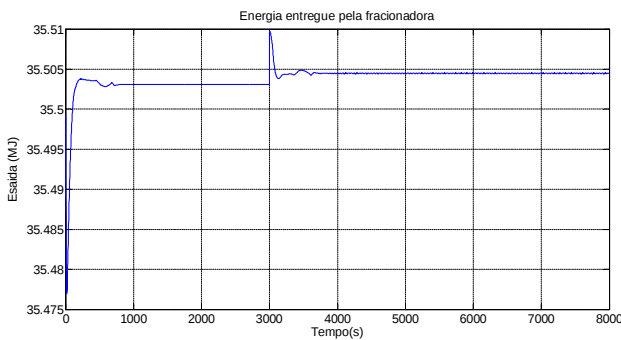


Figura 6. Comportamento da energia entregue pela torre fracionadora - falhas múltiplas.

Após detectada uma anormalidade, o passo seguinte é realizar a identificação da falha, a contribuição dos atuadores/sensores u_1 , u_2 , u_3 , y_1 , y_2 e y_7 na qual as variáveis com maior contribuição indicam os instrumentos defeituosos conforme mostrado no gráfico de barra da Figura 7, onde houve falha nos sensores 1 e 7 (y_1 e y_7).

A eliminação de falhas nos sensores e atuadores é feita com a reconstrução dos sinais, procedimento baseado na amplitude da falha e no vetor de direção da falha. Quando o sensor que mede a vazão do ponto de saída do topo (y_1) e o sensor (analisador) de temperatura de refluxo do fundo () estiverem defeituosos a direção da falha é dada pelo vetor $\xi = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1]$ e a amplitude da falha pode ser obtida fazendo $(x_i(k) - x_i(k - 1))$, onde $x_i(k)$ é a amostra no instante em que houve a falha obtida pelo teste de detecção e $x_i(k - 1)$ é a amostra

anterior a falha (amostra normal, sem anomalia), o que corresponde a usar o valor da contribuição da variável para o modelo PCA.

Os sensores/atuadores após a reconstrução são novamente testados pelas estatísticas multivariadas, com o intuito de verificar se realmente foi sanada a falha, os resultados destes testes são apresentados na figura 8, indicando a retificação de falhas nos sensores devido à reconstrução. A informação reconstruída alimenta o (s) controlador (es) para manter em operação o processo especificado.

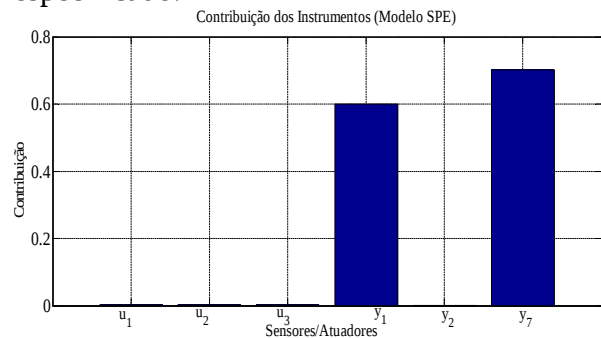


Figura 7: Identificação dos componentes defeituosos.

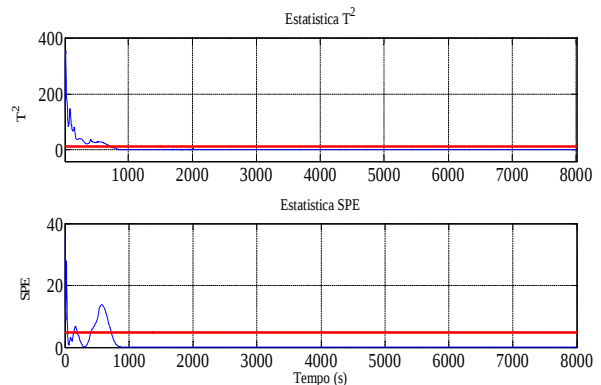


Figura 8: Identificação de falhas nos componentes - falhas múltiplas simultâneas.

Considerando os dados de Moreira (2007), a coluna tem 40 estágios e é alimentada com óleo cru pré-fracionado proveniente da torre de pré-fracionamento.

Parte dos dados de entrada do algoritmo de mapeamento energético encontra-se em Moreira e os restantes foram obtidos na pesquisa, portanto não sendo dados reais, visto a dificuldade para serem disponibilizados pelas empresas do setor de petróleo e gás (Petrobras S.A).

Uma questão de destaque em todos os setores industriais é o tocante ao consumo energético, ao uso racional e eficiente da energia, que a cada dia que passa ganha proporções globais. O aumento dos custos de energia, o aumento da competitividade global, restrições ambientais, larga utilização de energia devido ao crescimento econômico, industrial e populacional, esgotamento a médio e longo prazo das fontes primárias convencionais e o forte apelo por um desenvolvimento sustentável são razões para a busca por uma maior eficiência energética nas atividades industriais do setor de petróleo e gás. Neste cenário o balanço energético do processo serve para indicar os valores das variáveis do processo, indicar estados indesejáveis, proximidade a estados não permitidos bem como para tomar as ações apropriadas com a finalidade de manter uma operação aceitável e evitar danos ou acidentes, o que representa uma tarefa desafiadora, mas viável do ponto de vista econômico (Alexandre & Lima, 2013).

O mapeamento consiste em levantar gráficos dinâmicos que descrevam as trocas

térmicas ao longo de toda a unidade. Tomando como base este mapa energético da unidade, pode-se construir um algoritmo de monitoramento para avaliar os sinais energéticos da unidade na ocorrência da falha, computando a ocorrência do defeito e sua localização.

A eficiência energética da unidade processual pode ser entendida com estratégias/ações empregadas visando reduzir perdas e eliminar desperdícios no sistema energético. A redução de perdas é obtida com o emprego de tecnologia de ponta e a eliminação de desperdícios é alcançada através de conscientização, por meio de campanhas e treinamento profissional de recursos humanos para a área.

5. CONCLUSÕES

A solução proposta para detecção, isolamento e mitigação de falhas mostrou-se eficiente quando avaliada para a fracionadora de óleo cru operando em malha fechada, em termos da identificação de condições anormais de funcionamento, bem como da reconstrução de medições quando da ocorrência de falhas em sensores e atuadores.

A metodologia proposta para assinatura energética e prognóstico de falhas mostrou-se eficiente quando avaliada ao processo da *Shell*. A assinatura energética da unidade pode servir como ponto de partida para definir

ações de eficiência energética da planta. O procedimento de teste proposto é relativamente independente da estratégia de controle.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexandre, G. B. & Lima, A.M.N. *Diagnose de Falhas e Gestão de Alarmes em Sistemas de Instrumentação e Controle Industrial*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2013, Campina Grande, Brasil.

Ansari, R. M. & Tade, M. O. *Non-Linear Model-Based Process Control Applications in Petroleum Refining*. Springer-Verlag, London, 2000.

Bose M. S. R. K., Kumar Sathyendra & Venkateswarlu CH. *Detection, Isolation and Reconstruction of Faulty Sensors Using Principal Components Analysis*. Indian Journal Technology, v. 12, July 2005, pp.430-435.

Montgomery, D. C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2004, 532 pp.

Moreira, A. M., Pellanda, A. P., Veloz, C. S. C., Butrimavicius, P. J., Porto, M. F., Ahón, V. R. R. & Costa, A. L. H. *Estudo Energético da Integração Energética de uma Unidade de Destilação Atmosférica e Vácuo*. 2007, 4º PDPetro, Campinas, São Paulo.

Prett, D. M. & Morari, M. *The Shell Process Control*. Workshop, Butterworth Publisher, Boston, 1987.

Shen Yin, Steven X. D., Naik A., Pengcheng Deng, Haghani A. *On PCA-Based Fault Diagnosis Techniques*. 2010 Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (SysTol). IEEE. 2010, 179-84. Piscataway, NJ, USA.