



## SISTEMA DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM PLANTAS INDUSTRIAIS\*

Marlon Rosa de Gouvêa<sup>1</sup>  
 Rodrigo Otávio Souza de Assis<sup>2</sup>  
 Luciano Moraes Teixeira<sup>2</sup>  
 Marco Aurélio Silveira<sup>2</sup>  
 Henrique R. O. Souza<sup>3</sup>  
 Alexandre Vianna<sup>4</sup>

### Resumo

Atualmente, o processo de globalização tem colocado as indústrias de praticamente todo o mundo, frente à necessidade de trabalharem com altos níveis de produtividade, sendo este, fator determinante de sobrevivência de muitas delas. O conceito de se fazer mais com menos se tornou uma das pautas principais do mundo moderno. Neste contexto, a simples redução da mão-de-obra não necessariamente significa maior produtividade. Se esta não estiver aliada à melhor qualificação profissional desta mão-de-obra e, principalmente, à maior eficiência dos processos industriais, dificilmente será possível se obter a desejada mudança de patamar na produtividade industrial. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo a apresentação de um sistema de suporte às equipes de manutenção e operação, denominado SMDO (Sistema de Monitoramento e Diagnóstico Online), que atua diretamente no prognóstico e diagnóstico de falhas.

**Palavras-chaves:** Prognóstico e diagnóstico de falhas; Inteligência computacional.

### SYSTEM MONITORING AND FAULT DIAGNOSIS IN INDUSTRIAL PLANTS

### Abstract

Currently, the process of globalization has put the worldwide industries front of the necessity of working with high levels of productivity, this being a key determinant of survival of many them. The concept of doing more with less has become one of the main agendas of the modern world. In this context, simply reducing hand labor does not necessarily mean higher productivity. If this is not allied to a better professional qualification of manpower, and especially to the higher efficiency of industrial processes, it is hardly possible to obtain the desired step change in industrial productivity. Thus, this paper aims to present a support system for maintenance and operation teams, called SMDO (System Monitoring and Diagnostics Online), which acts directly on the prognosis and diagnosis of faults.

**Keywords:** Fault diagnosis and prognosis; Computational intelligence.

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista, Msc, Dr, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Graduando Engenharia Elétrica, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Eletricista, Geraes Integração de Sistemas, Belo Horizonte, MG, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado uma grande evolução tecnológica em todas as áreas do conhecimento. Especificamente em relação aos sistemas de automação, a cada dia mais recursos e informações são disponibilizados para controle de equipamentos e processos industriais. A evolução também se evidencia na qualidade e confiabilidade de muitos dos produtos disponíveis no mercado, tais como sensores e atuadores de campo, controladores lógicos programáveis, sistemas de acionamento elétrico, entre outros. Aliado a estes recursos, o campo da Inteligência Computacional, representado pelas Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy, Sistemas Evolutivos, entre outros, traz ainda mais robustez e qualidade aos sistemas de controle industriais que vem sendo implantados nos diversos setores produtivos [1,2].

Alguns trabalhos voltados para a utilização destas áreas de conhecimento em detecção de falhas são observados na literatura [3-5], entretanto, o que se observa nas indústrias é que, de uma forma geral, o principal foco da utilização de todos estes recursos e informações está voltado para o controle dos processos. Em outras palavras, a utilização de todos estes recursos mencionados não é muito significativa na detecção e prognóstico de falhas, ou mesmo na simplificação do processo de inspeção de equipamentos, o que certamente contribui para o aumento da produtividade das equipes de manutenção.

Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de apresentar uma estrutura dedicada ao prognóstico e diagnóstico de falhas, bem como ao suporte do processo de inspeção de equipamentos de uma planta industrial de grande porte, uma Laminação de Tiras a Quente do tipo Steckel. Esta estrutura tem como base o sistema de automação da planta em questão, além de apresentar uma característica modular que tem o objetivo de facilitar a sua utilização em outras plantas, sem que haja necessidade de alterações significativas de sua estrutura, além de permitir acréscimos de novas funções de detecção e diagnóstico de falhas que venham a ser desenvolvidas. Este sistema é denominado SMDO (Sistema de Monitoramento e Diagnóstico Online) e será apresentado em mais detalhe na sequência deste trabalho.

## 2 O PROCESSO DE MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser definida como o conjunto de atividades e recursos aplicados a equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, qualidade, prazo, custo e vida útil. Existe uma grande variedade de denominações de tipos de manutenção, dos quais vale a pena destacar os três principais: corretiva, preventiva e preditiva.

A manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho do equipamento. Ela pode ser planejada ou não. A manutenção corretiva não planejada ocorre de maneira aleatória, não havendo tempo para preparação do serviço, implicando em altos custos devido às perdas de produção, perda de qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção. Além disso, as quebras aleatórias podem ter consequências graves para o equipamento, provocando danos maiores, ou até mesmo risco de acidentes com pessoas. Este tipo de manutenção deve ser aplicado quando os custos da manutenção corretiva envolvidos são menores que os custos da manutenção preventiva ou preditiva, ou quando estas não podem ser aplicadas ao equipamento, seja por indisponibilidade de parada de

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



equipamentos ou impossibilidade de monitoração e diagnóstico do estado de funcionamento dos mesmos.

A manutenção preventiva tem o objetivo de reduzir ou evitar as falhas de equipamentos ou a queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos de tempo previamente definidos. A principal dificuldade neste tipo de manutenção é a definição do intervalo de tempo, que pode levar inicialmente a ocorrência de falhas antes de se completar o período estimado de atuação no equipamento, ou a intervenções no equipamento com a substituição de componentes de forma prematura. A manutenção preventiva permite um bom planejamento das atividades e dos recursos necessários, porém ela pode introduzir defeitos devido a falhas humana ou nos sobressalentes. Como exemplo pode-se citar contaminações em sistemas de óleo, danos no equipamento durante a execução dos procedimentos de manutenção, entre outros.

A manutenção preditiva é realizada com base em monitoramento de parâmetros de condições ou desempenho. Seu objetivo é permitir a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. As intervenções no equipamento são planejadas e só acontecem quando os sinais monitorados indicam a existência de uma falha incipiente, antes do equipamento interromper a produção. É o tipo de manutenção que possui maior eficiência, e sua evolução está relacionada à evolução tecnológica. A principal dificuldade neste tipo de manutenção está relacionada ao processo de análise e diagnóstico das informações coletadas. Não basta medir, é necessário ser capaz de analisar os resultados e prever a falha. É muito comum se encontrar em empresas sistemas de coleta e registro de informações para a manutenção preditiva sem produzir ações de intervenção com a mesma qualidade dos dados registrados. Neste sentido, o conhecimento técnico dos especialistas envolvidos no processo e / ou a disponibilização de métodos eficazes de prognóstico são fundamentais.

### 3 SISTEMA DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO ONLINE - SMDO

A figura 1 traz a configuração básica do Sistema de Monitoramento e Diagnóstico Online – SMDO. Este sistema possui uma base de dados onde as principais variáveis do processo produtivo são armazenadas com frequências de amostragem condizentes com as suas necessidades. Assim, variáveis digitais e contínuas tais como velocidade, corrente, pressão, fluxo, posição, indicadores de presença, etc., são disponibilizadas na base de dados do SMDO, além de comporem um vasto histórico de dados, conforme representado pelo bloco intitulado *Base de Dados*. Desta forma, as informações necessárias para o desenvolvimento de métodos para detecção e prognóstico de falhas, bem como para suporte ao processo de inspeção de equipamentos, são disponibilizadas por longos períodos, de acordo é claro, com a capacidade de armazenamento definida para o sistema.

\* *Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*

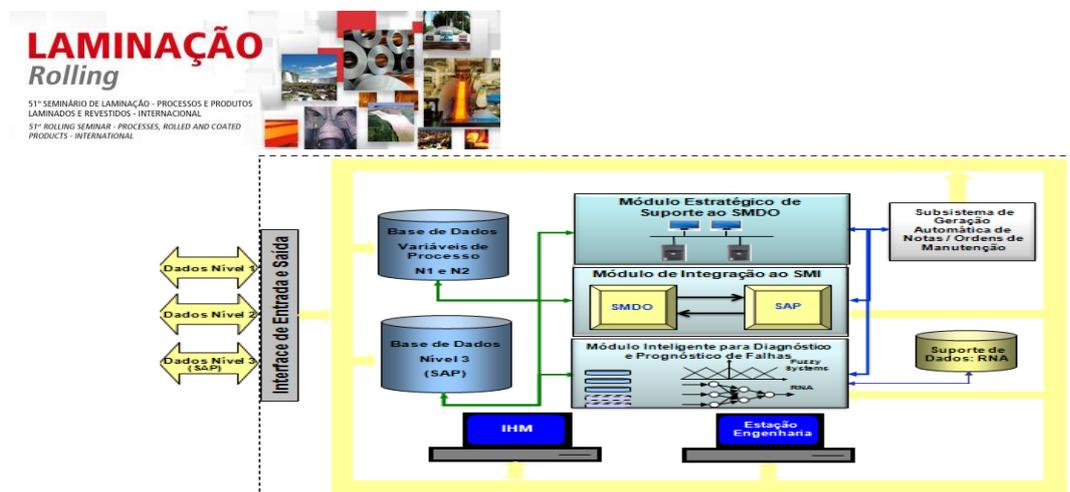


Figura 1 – SMDO – Sistema de Monitoramento e Diagnóstico Online

Como mencionado, esta plataforma permite que as inspeções de equipamentos que envolvam a verificação de parâmetros tais como temperatura, pressão, vazão, etc., sejam feitas sem grande dispêndio de tempo, principalmente se as informações necessárias estiverem agrupadas por equipamentos, processos, ou mesmo por rotas de inspeção. No método convencional de inspeção parametrizada (inspeções feitas diretamente no local de instalação do equipamento) são verificados os valores das variáveis de processo dentro de uma faixa normal de trabalho. Assim, dependendo da dimensão da planta, pode-se despendar um tempo significativo para a realização destas inspeções. Também é importante considerar o fator de segurança, levando-se em conta uma menor exposição de profissionais de manutenção aos ambientes de risco.

Outro fator importante referente a esta plataforma é o acesso a documentação técnica do processo e equipamentos, tendo um sistema de navegação baseado em imagens que retratam o mais fidedignamente possível os equipamentos da planta. Isto proporciona uma maior facilidade de utilização do sistema pelo usuário, tornando a navegação no SMDO mais intuitiva, o que contribui para a redução do tempo de pesquisa de falhas.

Deve ser mencionada ainda a estrutura de hardware e software que compõe o SMDO. A disponibilização de um banco de dados que permita o armazenamento das informações do processo é fundamental para as análises de tendências e para a implementação de algoritmos para prognóstico e diagnóstico de falhas. A utilização de softwares que facilitem que o sistema seja replicado em outras plantas industriais, incluindo o acesso ao sistema via Web também é um fator a ser considerado.

## 4 PRINCIPAIS COMPONENTES SMDO

### 4.1 Módulo Estratégico Estrutura de Suporte ao SMDO

Este módulo é a base de todo o sistema para monitoramento, prognóstico e diagnóstico de falhas. Essencialmente ele se fundamenta na estrutura do hardware, bem como no sistema de interface homem máquina a serem utilizados. Neste caso, tendo como foco a forma como serão apresentadas as informações do processo monitorado, objetivando-se facilitar a interação com o sistema, além de maximizar a disponibilização das informações contidas neste sistema.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



#### 4.1.1 Definição de hardware, softwares e fluxos de informações

A definição de hardware, softwares e fluxos de informações a serem utilizadas no SMDO é a primeira etapa para a construção deste sistema. Tipos de acessos, bancos de dados, comunicações entre os vários níveis de automação, sensores utilizados para a obtenção de informações, etc., são exemplos de atividades básicas.

*Clientes:*

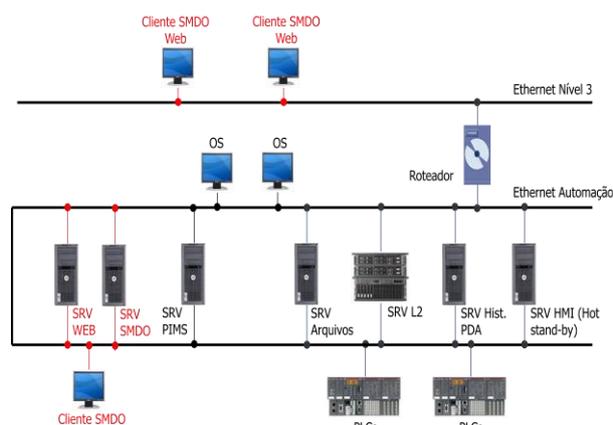
Interface web para utilizar o mesmo recurso de hardware e software, dispensando a aquisição de computadores específicos ou licenças de softwares para cada cliente. Permite acesso ao sistema através da rede corporativa, incluindo acesso remoto através de VPN (Virtual Private Network).

*Servidor PIMS:*

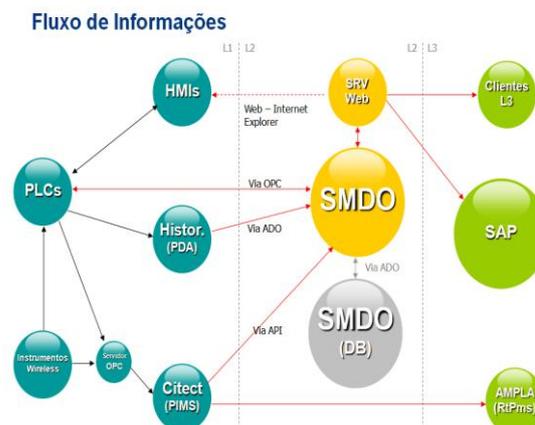
Servidor PIMS utilizado como fonte de dados e servidor Web. As estações clientes acessam apenas este servidor através de interface Web. Nenhum acesso direto é feito aos demais servidores da rede de automação.

Os dados exibidos nas estações cliente são coletados pelo servidor do PIMS. A origem destes dados pode ser os servidores de HMI (supervisório), servidor PDA, servidor de nível 2 ou qualquer outro sistema que permita acesso aos dados por outra aplicação.

Abaixo, as figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, uma estrutura de automação típica de uma planta industrial e o fluxo básico de informações envolvidas no SMDO.



**Figura 2** – O SMDO dentro do Sistema de Automação



**Figura 3** – Fluxo de informações no SMDO

#### 4.1.2 Sistema de supervisão de manutenção

Este módulo assemelha-se aos sistemas supervisórios encontrados na maioria das plantas industriais. No caso destes sistemas dedicados ao controle operacional, as seguintes funções se destacam:

- Apresentação visual de alarmes de falhas no processo: temperatura, vazão, pressão, falha de sequência de controle, etc.;
- Auxílio básico na identificação de condições faltantes para que os equipamentos estejam aptos à operação;
- Apresentação visual numérica de variáveis de processo contínuas (analógicas): corrente elétrica, vazão, pressão, velocidade, temperatura, etc;

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



- Disponibilização gráfica para acompanhamento operacional de tendências de variáveis de processo contínuas: corrente elétrica, vazão, pressão, velocidade, temperatura, etc;

Porém, o Módulo Estratégico de Suporte do SMDO tem como foco o processo de manutenção. Desta forma, além das funções citadas, este módulo apresenta um processo de navegação que permite ao usuário um fácil e detalhado acesso aos principais equipamentos da planta, tais como sistemas hidráulicos, lubrificação e pneumáticos, sistemas de distribuição elétrica, sistemas de acionamentos elétricos, painéis de comando, cartões de entrada e saída dos CLP's, redes de automação, etc.

Além disto, este módulo é responsável pelas funções de *Inspeção Remota*, em modos *Assistido* e *Remoto*. Também contempla a função de acesso ao Sistema de Manutenção Integrada da planta, facilitando o trabalho do dia-a-dia das equipes de manutenção em relação à abertura de ordens de serviço, tratamentos de falhas, etc. A seguir uma melhor visualização do processo de navegação será apresentada com base em alguns exemplos telas do SMDO.

A figura 4 apresenta a tela de entrada do SMDO. Através dela, o usuário pode escolher qual dos processos operacionais ele deseja acessar. A partir daí é possível se obter através de vários caminhos, acesso ao processo ou informação desejada. Através da tela apresentada na figura 5, tendo como base os equipamentos operacionais, pode-se obter acesso a todos os sistemas mecânicos, hidráulicos, elétricos ou de automação do equipamento operacional desejado. As figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, um dos sistemas de acionamento elétrico da planta e o detalhe de cada inversor de frequência que compõe o sistema de acionamento acessado. Vale observar que, a partir destes equipamentos, todas as informações digitais, analógicas e de falhas referentes aos mesmos podem ser visualizadas.

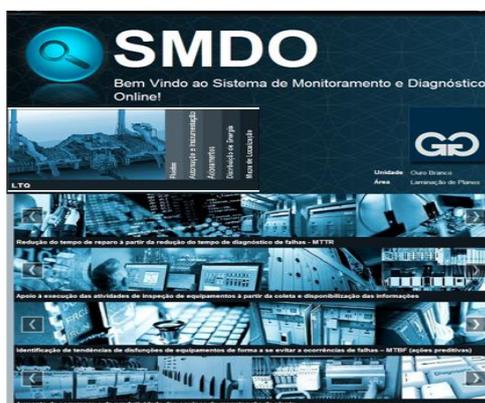


Figura 4 – SMDO – Portal de Entrada

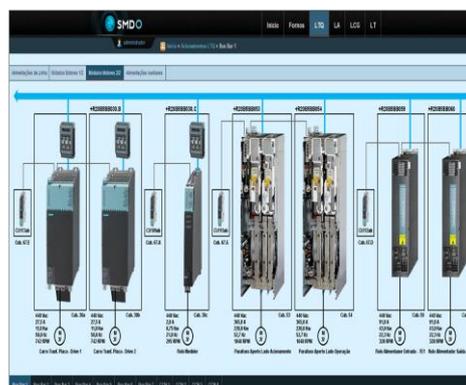


Figura 5 – SMDO – Acesso diretamente através dos equipamentos operacionais da Linha de Laminação Steckel:

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



**Figura 6** – SMDO – Acesso através do Sistema de Acionamento

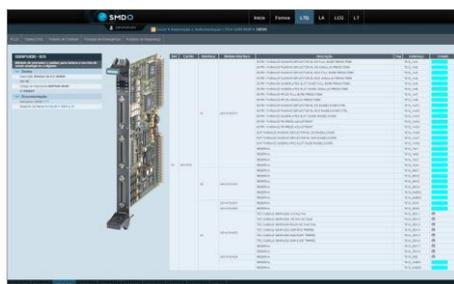


**Figura 7** – SMDO – Acesso aos componentes (inversores de frequência) do Sistema de Acionamento Elétrico

A figura 8 traz um dos CLP's que compõe o sistema de automação da planta de referência deste trabalho. Além de apresentar os status de todos os cartões eletrônicos, incluindo valores das entradas e saídas digitais e analógicas, é possível se acessar o detalhamento das informações de cada um dos cartões que compõe o módulo do CLP (figura 9). Também é possível se ter acesso aos manuais técnicos de todos os componentes. Na verdade, como mencionado anteriormente, esta é uma das funcionalidades do SMDO, ou seja, acesso a toda documentação técnica existente: diagramas elétricos, desenhos mecânicos, manuais de equipamentos, etc. Por fim, a figura 10 apresenta como exemplo, o desenho esquemático de dois equipamentos mecânicos, onde todos os sinais de controle e monitoramento relacionados a eles sejam analógicos ou digitais, estão listados e disponibilizados em tempo real nesta tela.



**Figura 8** – SMDO – Sistema de Automação: CLP



**Figura 9** – SMDO – Sistema de Monitoramento e Diagnóstico Online



**Figura 10** – SMDO – Sistema de Monitoramento e Diagnóstico Online

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



## 4.2 Módulo de Integração ao Sistema de Manutenção

De uma forma geral, as indústrias de médio e grande porte possuem sistemas de manutenção integrados, com metodologias de trabalho e de registro de informações padronizadas. Como exemplo pode ser citado ordens de serviços que definem as atividades a serem executadas, bem como o efetivo, tempo de execução das atividades, materiais a serem utilizados, riscos envolvidos nas atividades, etc. Estas ordens podem ser oriundas de um plano de manutenção baseada no tempo ou em função da condição do equipamento (inspeção ou falha). Neste sentido, o SMDO proporciona a função de inspeção remota de equipamentos cujas variáveis estão disponíveis no sistema de automação da planta. Além disto, a integração SMDO ao sistema de manutenção da planta é uma possibilidade que pode ser explorada.

### 4.2.1 Subsistema de inspeção remota

Uma consequência direta da disponibilização no sistema de automação de diversas variáveis mensuráveis é a utilização destas informações para reduzir a necessidade de inspeções de equipamentos *in loco* pelas equipes de manutenção ou de operação. Em outras palavras, a inspeção *in loco* pode se concentrar na verificação das condições físicas e não mensuráveis dos equipamentos, tais como ruídos anormais, vazamentos de óleo, odores anormais, etc. Além disto, os modos de falhas e contramedidas por atividades de inspeção estão disponíveis no próprio SMDO. Assim, este sistema permite um aumento da produtividade das equipes envolvidas nos processos de inspeção, à medida que disponibiliza mais tempo para outras atividades do dia-a-dia sejam realizadas: planejamento de atividades de manutenção, controle de sobressalentes, análise de falhas de equipamentos, etc.

À medida que se conhece os limites de operação de cada sistema, no que diz respeito às variáveis mensuradas, pode-se configurar o sistema de inspeção remoto no que se pode chamar *Modo Automático*. Nesta situação, ter-se-á um monitoramento constante das variáveis medidas, com a identificação de situações em que parâmetros estejam fora das faixas normais de trabalho. Neste caso, os modos de falhas podem ser associados às falhas, bem como as contramedidas. A classificação da gravidade da falha também pode ser obtida, o que é um princípio de incorporação de inteligência ao SMDO.

### 4.2.2 Integração com o sistema de manutenção

À medida que as informações de sensores discretos ou contínuos são disponibilizadas pelo sistema de automação, tendo-se o conhecimento da faixa de operação normal dos sistemas por eles monitorados, podem ser estabelecidas regras que permitam a detecção de anomalias nos sistemas produtivos monitorados, que por sua vez disparem através da interface do SMDO com o Sistema de Manutenção da planta, um processo de notificação à equipe de manutenção valendo-se de notas ou ordens de manutenção para o devido reparo.

A atuação da função de detecção da anomalia descrita deverá ter ações diferentes em função da gravidade da falha. Desta forma, esta função necessita ser configurada a partir do conhecimento prévio do próprio processo de manutenção da planta sob monitoramento do SMDO. Trata-se de outra abordagem de incorporação de inteligência ao SMDO.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



### 4.3 Módulo Inteligente para Prognóstico e Diagnósticos de Falhas

A possibilidade de incorporação de inteligência ao SMDO é o grande diferencial deste módulo. A base de dados de processo e de controle da planta, além da conexão do SMDO a todo o ambiente envolvido no processo produtivo, indo do nível 0 de automação aos níveis de controle corporativo da empresa, são fatores que permitem que algoritmos de prognóstico e detecção de falhas sejam utilizados com base nos dados disponibilizados por este sistema.

Abaixo são listadas algumas das características deste módulo do SMDO:

- Arquitetura modular: possibilidade de adição de novos softwares aplicativos para identificação de falhas à medida que forem sendo desenvolvidos;
- Sistema aberto à utilização de qualquer técnica de identificação de falhas, tais como: Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy, Sistemas Especialistas, Sistemas Baseados em Imagens, Algoritmos Genéticos, etc.;
- Reconfiguração automática de Sistemas em falha (ex: falha na medição de velocidade através de *encoder* de um Sistema de Acionamento Elétrico ca: comutação da realimentação de velocidade para a velocidade calculada através do modelo matemático do motor disponível no próprio inversor de frequência).

Além disto, alguns ganhos se evidenciam em relação ao desenvolvimento e aplicação deste módulo inteligente do SMDO. São eles:

- Aumento de produtividade das equipes de manutenção, à medida que os tempos para a identificação de falhas de equipamentos e processos são reduzidos;
- Desenvolvimento de tecnologia com participação das equipes de engenharia e manutenção da própria empresa;
- Desenvolvimento de parcerias com instituições de pesquisas e universidades no desenvolvimento de algoritmos para prognóstico e detecção de falhas nas diversas áreas da engenharia.

#### 4.3.1 Exemplo de aplicação de inteligência através do SMDO: Falhas em sistemas de controle hidráulico

Em sistemas hidráulicos empregados em processos de alta precisão, comumente são utilizadas válvulas proporcionais para controle de força, posição e velocidade. O controle destas variáveis é realizado por controladores que emitem sinais elétricos de comando para as válvulas hidráulicas. Conhecendo-se o padrão de operação destes sinais de entrada, bem como dos sinais de saída deste sistema, torna-se possível o diagnóstico de falhas através do uso de sistemas computacionais inteligentes [7].

As características dos componentes hidráulicos, tais como, histerese, curva de vazão em função do deslocamento do carretel, precisão de repetibilidade, entre outros, sofrem variações devido ao desgaste natural dos componentes mecânicos e possíveis contaminações do óleo hidráulico. Para manter as variáveis de processo constantes e a máquina em boas condições de funcionamento, o controlador da válvula proporcional desloca o seu ponto de operação. Conhecendo o padrão inicial de operação, é possível monitorar e verificar quando este está se alterando.

\* *Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*

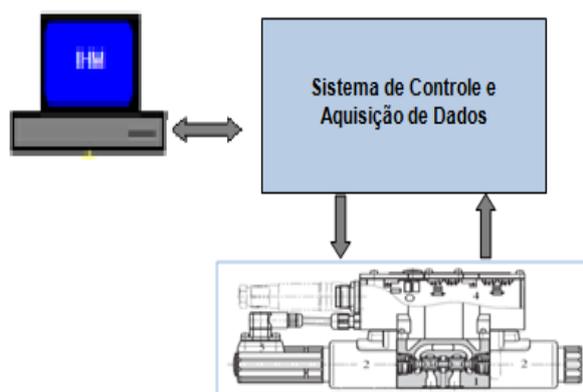


Para a implementação de uma função de diagnóstico de falhas em válvulas proporcionais, utilizou-se um sistema computacional inteligente, com base em um Algoritmo Evolutivo de Agrupamento Participativo Gaussiano, que através do monitoramento contínuo de um sistema hidráulico com controle proporcional, permite a identificação das mudanças do ponto de operação deste sistema.

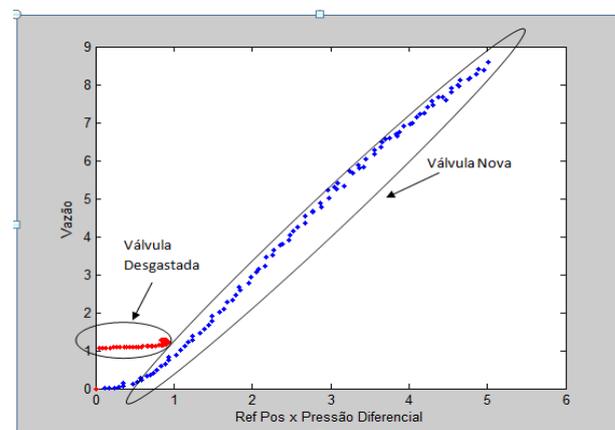
## 5 RESULTADOS PRÁTICOS

Dentro dos processos industriais, os sistemas hidráulicos desempenham um papel fundamental, tanto do ponto de vista de acionamentos que requerem a movimentação de equipamentos, quanto na integração com os sistemas automação nos processos de controle. Desta forma, neste item se discute um dos principais modos de falhas em válvulas proporcionais, que é o desgaste de um de seus elementos internos, o carretel. São realizados ensaios para a caracterização deste modo de falha, procedendo-se a sua identificação através do Algoritmo Evolutivo de Agrupamento Participativo Gaussiano [7].

A figura 11 apresenta o diagrama esquemático da bancada de testes montada para a obtenção dos dados de falhas em válvulas proporcionais, para posterior utilização do modelo de identificação de falhas no SMDO. O objetivo é de se obter dados referentes ao modo de falha desgastes de carretéis. Dentro deste processo de caracterização de falhas, as informações obtidas são submetidas ao classificador para a criação dos grupos que representam os diferentes tipos de falhas. A figura 12 apresenta os resultados obtidos pelo classificador para a condição normal de operação e em relação à condição de falha na válvula proporcional devido a desgaste no carretel. Vale ressaltar que estes resultados foram obtidos com o controle desta válvula sendo feito em malha aberta.



**Figura 11** – Diagrama esquemático do sistema de aquisição de dados de falhas em válvula proporcional utilizado



**Figura 12** – Separação de pontos de operação da válvula proporcional

Vale salientar que este é apenas um exemplo da potencialidade do SMDO em relação ao prognóstico e detecção de falhas, visto estar o mesmo aberto à adição de outros algoritmos à medida que os mesmos forem desenvolvidos. Por fim, vale observar que o sistema em questão está em fase avançada de desenvolvimento, o que vai permitir em breve a sua total disponibilização para suportar a planta onde o SMDO está sendo aplicado.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, a importância dos sistemas de prognósticos e detecção de falhas é discutida à luz da crescente necessidade das indústrias de obterem elevados níveis de produtividade, tendo como foco a maior disponibilização dos equipamentos utilizados nos diversos processos produtivos, a otimização do tempo disponível pelas equipes de manutenção para as tarefas de manutenção e a redução da exposição a riscos de acidentes durante essas tarefas. Apresentou-se uma proposta de estrutura de hardware e software para a construção de um sistema, garantindo-se a possibilidade de expansão e aplicação em diferentes plantas, inclusão de novas técnicas de diagnóstico e prognóstico de falhas e interface com os sistemas de documentação técnica e gestão da manutenção. Além disto, também se apresentou um exemplo de aplicação de um algoritmo inteligente para prognóstico de falhas em válvulas hidráulicas baseado no SMDO, de forma a reforçar a potencialidade do sistema proposto.

## REFERÊNCIAS

- 1 Gouvêa MR, Menezes BR, Figueiredo ES, Pires AV, Caminhas WM. A New Neurofuzzy Controller Applied to Vector Control of Induction Motors. The IASTED International Conference on Computational Intelligence. Calgary, Alberta – Canada – July 4-6, 2005.
- 2 Gouvêa MR, Carvalho MA, Silva RGS, Caminhas WM. Uso de Controlador Neurofuzzy baseado em redes NFN para controle de pH. XVI Congresso Brasileiro de Automática – 3 a 6 de outubro de 2006, Salvador.
- 3 Gouvêa MR, Baccharini LMR, Caminhas WM. Detecção e Diagnóstico de Falhas em Conversores Duais Aplicados a Acionamentos Elétricos de Corrente Contínua, X Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Recife - PE, novembro de 2002.
- 4 Baccharini LMR, Gouvêa MR, Caminhas WM. Contribuição a Manutenção de Máquinas de Indução: Proposta de um Método para Detecção e Localização de Barras Quebradas. VII Seminário de Automação de Processos – ABM, Santos – SP, setembro de 2003.
- 5 Aplicação de Sistemas Especialistas Híbridos Para Apoio em Manutenção Na Indústria Automotiva. V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica; 25 a 28 de agosto de 2008 – Salvador – Bahia – Brasil.
- 6 Filho JRBR. Análise Teórico-Experimental de Falhas em Válvulas Direcionais. Servoproporcionais. Dissertação de Mestrado, Florianópolis, Julho, 2009.
- 7 Braga RR, Caminhas WM. Uma Nova Abordagem do Algoritmo de Agrupamento Participativo Aplicada à Detecção e Diagnóstico de Falhas em Sistemas Dinâmicos, UFMG, 2010.

\* *Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*