

Aplicações de Sistemas Especialistas e Redes Neurais na Petrobras

Mario C. Massa de Campos, Dr.

Kaku Saito, M.Sc.

Petrobras – Cenpes

Centros de Pesquisa e Desenvolvimento
Cidade Universitária Q.7 Ilha do Fundão cep.

21941-598 Rio de Janeiro

mariocampos@petrobras.com.br

kaku@petrobras.com.br

Milton Pires Ramos, Dr.

Divisão de Inteligência Artificial do TECPAR
– Instituto de Tecnologia do Paraná Rua Prof.

Algacyr Munhoz Mader, 3775,

Paraná, – 81350-070

mpramos@tecpa.br

Abstract

This paper presents some examples of application of expert system and neural net in Petrobras. Experts systems valorise the people's knowledge (engineers and operators) in order to help operators during their activities improving safety and profitability of industrial units. Neural net is used to valorise data and to implement virtual sensors.

1. Introdução aos Sistemas Especialistas

Os sistemas especialistas (SE), ou sistemas baseados em conhecimentos, processam as informações de forma diferente dos sistemas clássicos de computação, onde os dados de um problema são tratados seqüencialmente para se obter um resultado. No sistema especialista existe um motor de inferência que utiliza os dados disponíveis e os conhecimentos armazenados na sua base, para se gerar novos dados de forma interativa até se chegar à solução do problema.

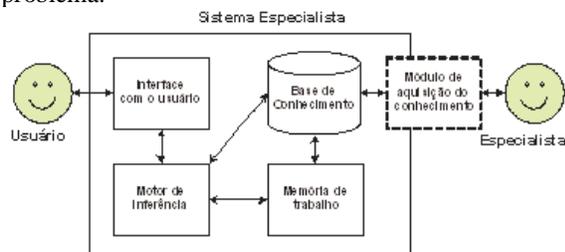


Figura 1 - Estrutura de um Sistema Especialista.

Nestes sistemas, os conhecimentos necessários à solução de um determinado problema são obtidos e organizados em uma base de conhecimento através de

regras e/ou procedimentos. A obtenção destes conhecimentos, ou competências, e a organização explícita dos mesmos através de regras são a parte mais difícil e consumidora de tempo no desenvolvimento de um SE.

O motor de inferência é o coração dinâmico do SE. Este módulo contém um conjunto de algoritmos de busca para explorar a base de conhecimentos e gerar as conclusões e resultados desejados [Lavet, 1987]. Este motor de inferência é portanto um conjunto de regras de inferência ou raciocínio.

A tecnologia dos sistemas especialistas surgiu ao final dos anos 70, e seu objetivo principal era o desenvolvimento de sistemas computacionais para resolver problemas complexos em um domínio muito específico, baseado no conhecimento adquirido de um especialista humano e sendo capaz de apresentar o mesmo desempenho deste especialista na solução de tais problemas. A grande vantagem da tecnologia é a de preservar e distribuir um conhecimento estratégico, caro e difícil de formar [Rolston, 1988].

No desenvolvimento de um sistema especialista, como já foi dito, a parte mais importante é o processo de aquisição do conhecimento, que é crítica para a qualidade do sistema inteiro. Ela costuma ser feita a partir de diversas seções de entrevista entre o especialista, ou equipe de especialistas, e os engenheiros do conhecimento [McGraw e Harbison-Briggs, 1989]. O conhecimento adquirido é modelado então de acordo com um formalismo determinado pela equipe de desenvolvimento e implementado em uma base de conhecimento (BC), o coração do sistema especialista. O processo do raciocínio do especialista humano é analisado e modelado em um motor de inferência (MI), que usa a BC para resolver os

problemas. A Figura 1 mostra a arquitetura típica de um sistema especialista, incluindo também a interface com o usuário e a memória do trabalho (MT) usada para armazenar conclusões parciais que o sistema pode ainda aplicar no processo de inferência [Russell e Norvig, 2002][Schalkoff, 1990].

Os sistemas especialistas têm sido aplicados com sucesso para organizar e disponibilizar uma grande quantidade de conhecimentos de certas áreas específicas.

2. Sistema Especialista para Controle de Corrosão em Unidades Industriais

Corrosão é uma das grandes causas de acidente e perdas econômicas nas indústrias do petróleo e petroquímica [Kermani e Harrop, 1995]. Assim, novos materiais, inibidores, sensores e técnicas de monitoração estão constantemente em desenvolvimento com a finalidade de melhorar a prevenção da corrosão e a confiabilidade das plantas industriais.

Atualmente a Petrobras tem processado em suas refinarias o óleo nacional da Bacia de Campos que é pesado e apresenta alta corrosividade, gerando a necessidade de novos métodos para controlar e minimizar os efeitos da corrosão [Baptista, 2002].

A corrosão em plantas industriais de processamento do petróleo é caracterizada pelo envolvimento de um grande número de variáveis, muitas delas apresentando um elevado grau de interdependência com parâmetros operacionais e com a qualidade de produtos químicos. Por esta razão, a monitoramento da corrosão deve tratar muitas informações, adquiridas de sensores de corrosão, da instrumentação da planta e de análises químicas em laboratório.

Diversos métodos estão disponíveis para a quantificação e/ou a qualificação do processo corrosivo e a definição do método mais apropriado depende de características deste processo. Entretanto, o monitoramento da corrosão permite somente que se saiba que o fenômeno está ocorrendo. O controle eficaz da corrosão depende da análise de todos os parâmetros necessários para definir a natureza do processo da corrosão e das ações para controlar o processo, antes que danos irreversíveis sejam impostos aos equipamentos da planta.

Recursos computacionais são fundamentais neste controle, porém é possível ir mais além dominando não apenas os dados relativos ao processo, mas também o conhecimento necessário para as tarefas da análise e controle da corrosão.

O controle da corrosão normalmente acontece na indústria de processo através de correções nos parâmetros de processo da planta como pH, fluxo, temperatura etc., ou por um meio externo, por exemplo, através da injeção de produtos químicos como inibidores e neutralizadores. Assim, a seqüência de eventos para o controle da corrosão é um ciclo tendo como etapas principais:

- os dados são adquiridos dos instrumentos de processo e sensores de corrosão;
- os dados são organizados para permitir a análise;
- os especialistas em corrosão formulam um diagnóstico e instruções sobre medidas corretivas a serem tomadas;
- os operadores da planta executam estas instruções de correção.

As dificuldades surgem no controle da corrosão devido à necessidade de obter e analisar grandes volumes de dados e interagir com diferentes equipes encarregadas desta atividade. Conseqüentemente, este ciclo deve estar funcionando com uma freqüência adequada a fim de detectar todo o sinal de corrosão em seus estágios iniciais. Isto, porém, só será possível se o especialista em corrosão estiver disponível o tempo todo para monitorar o processo.

Desta forma, a Petrobras e o TECPAR iniciaram em 1992 o desenvolvimento de um sistema especialista para auxiliar os operadores e engenheiros no controle da corrosão. Este sistema compila os conhecimentos em ciência dos materiais e engenharia de processos e gera um conjunto de ações que os operadores devem executar para evitar a deterioração de equipamentos, como aumentar a vazão de água em alguns pontos do processo, ou colocar inibidores, etc. Este sistema não atua na planta de processo, mas apenas auxilia os operadores nas ações a serem executadas, disponibilizando os conhecimentos dos especialistas em corrosão para os operadores em tempo real.

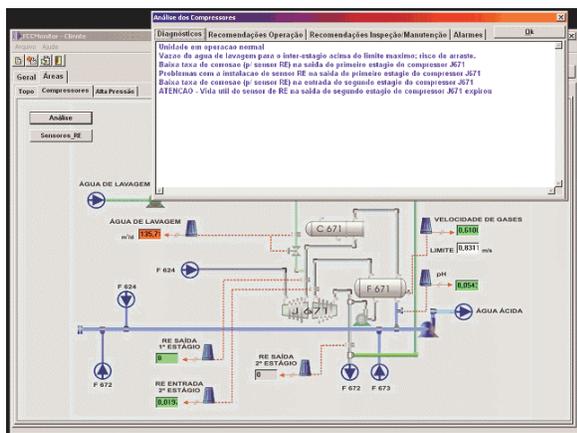


Figura 2 – Sistema Especialista de Corrosão.

A Figura 2 mostra uma tela da interface do sistema especialista de controle da corrosão de Unidades de Craqueamento (FccMonitor), onde é possível ver o código das cores para atrair a atenção dos usuários: vermelho para situações de alarme, amarelos para chamar a atenção, verdes para situações normais e o cinza para as situações onde o sistema especialista tem dúvidas sobre a confiabilidade dos dados adquiridos. A mesma figura mostra também a tela de análise com a saída do sistema especialista na forma do diagnóstico da situação da planta, de uma lista das recomendações para a equipe de operação, de uma lista das recomendações para a equipe de inspeção/manutenção e de uma lista de alarmes acionados [Correa et al., 2000]. Estes sistemas especialistas estão operando desde 2000 em duas refinarias brasileiras e apresentaram bons resultados em relação ao controle do processo corrosivo e preservação do conhecimento de especialistas humanos.

Destas experiências de sistemas especialistas para controle de corrosão, é possível enfatizar alguns benefícios alcançados com suas implementações e instalações nas unidades industriais da Petrobras:

- Aumento do controle sobre o processo corrosivo;
- Revisão e a consolidação dos procedimentos de controle da corrosão;
- Redução da injeção de produtos químicos;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Fator operacional mais longo e períodos mais curtos de parada programada;
- Segurança para as pessoas e o ambiente

3. Sistema Especialista para a Partida de uma Plataforma de Produção de Petróleo

Um sistema especialista para automação da partida foi desenvolvido para a plataforma P-19, localizada na bacia de Campos no Rio de Janeiro (figura 3). A partida de uma planta de produção é uma atividade complexa e com muitos riscos, logo um sistema de auxílio à operação para estas atividades é uma ferramenta importante.

A frequência de paradas de produção em uma plataforma de petróleo “off-shore” é muito maior do que a de outros processos em uma refinaria. Existe uma grande quantidade de eventos que levam a esta parada da produção por motivos de segurança.

O principal objetivo deste sistema é auxiliar os operadores a recolocar a plataforma em operação o mais rápido possível após uma parada. O sistema irá monitorar as variáveis críticas, orientar os procedimentos e automatizar certas etapas.



Figura 3 – Plataforma P-19.

O sistema contempla as seguintes áreas da plataforma: sistema de separação do óleo, bombas de exportação, “gas-lift” e injeção de água. Em todas estas áreas a estratégia de partida adotada contempla os aspectos operacionais, e de segurança do pessoal e do meio-ambiente.

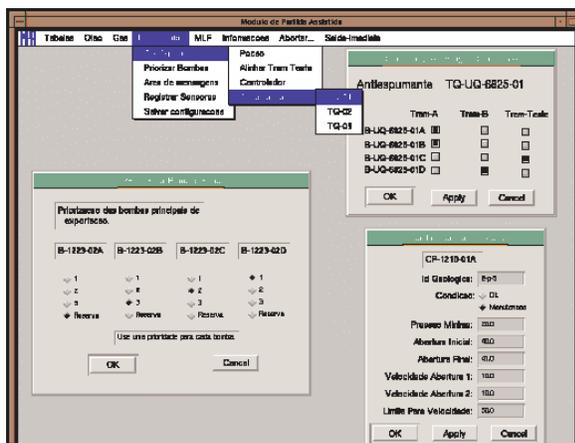


Figura 4 – Interface do sistema especialista para automação dos procedimentos de partida.

Por exemplo, para o sistema de separação do óleo, o macro fluxo é o seguinte:

- Verificação dos sistemas auxiliares;
- Comando de abertura das válvulas “on-off”;
- Comando de abertura das válvulas dos poços (“subsea wellhead valves”);
- Partida das bombas de exportação;
- Abertura das válvulas “choke” de produção dos poços.

Além da padronização, e conseqüente aumento da segurança, este sistema também permite a abertura e monitoração de mais de 40 válvulas “on-off” simultaneamente. Ele também evita possíveis esquecimentos que poderiam levar a uma nova parada, como a não colocação em operação da bomba de anti-espumante. Este sistema permitiu um ganho de 30% no tempo para recolocar a plataforma em operação. Este conceito de partida automatizada está sendo utilizado em outras plantas industriais, tais como, fornos, FCCs, reatores, Unidades de Coque, etc. Maiores detalhes deste sistema podem ser obtidos em [Campos e Saito, 2004][Campos et al., 2001].

4. Sistema Especialista para Gestão dos Conhecimentos da Área de Automação

A consolidação e a manutenção de conhecimento, e mais especificamente, a formatação do conhecimento caracterizado pelo denominado “know-how”, é uma das potenciais aplicações para sistemas especialistas.

A tentativa de manter a experiência de uma companhia em um documento “formal” não é uma prática trivial. Relatórios, memórias de cálculo e manuais são freqüentemente considerados documentos

de referência para consultas futuras em projetos, serviços de manutenção e suporte técnico. Tentar extrair os pontos principais e torná-los disponíveis de forma rápida e objetiva é ainda um desafio.

Os sistemas especialistas podem ser aplicados nesta área, de potencial interesse para qualquer companhia, procurando extrair os focos principais de uma área de conhecimento, na tentativa de preencher lacunas criadas pela perda de especialistas.

Nos dias de hoje, o compartilhamento da informação, dado que o conhecimento é uma informação de alta relevância, é premissa para aplicações que visam consolidar práticas, ou técnicas, de qualquer natureza para o fortalecimento de equipes, sejam elas de engenharia, manutenção, operação, etc.

Nesta visão, o conceito de aplicação baseada na “Intranet” adquire uma vantagem em relação a outros produtos desenvolvidos sobre diversas plataformas distintas de “software”. Seu alcance é ilimitado dentro de qualquer companhia, e os próprios usuários do conhecimento podem ser cooptados para se integrar a “rede” de conhecimento através dos chamados “fóruns” na WEB.

Citando um exemplo prático, dentro de uma grande companhia de petróleo, com “Unidades Operacionais” em diversas localidades, contemplando desde plataformas marítimas a refinarias em diversos estados ou mesmo países, o alcance do conhecimento pode ser viabilizado às diversas equipes sediadas nestas localidades, sejam elas voltadas à construção e montagem, manutenção, operação ou engenharia de acompanhamento.

Com este objetivo foi desenvolvido o sistema “Consultor” que é mais do que um sistema especialista, é um ambiente voltado ao auxílio a projetos de engenharia de automação de plantas industriais de petróleo.

Neste campo, o problema da gestão do conhecimento é focado nos seguintes objetivos:

- projetar equipamentos ou sistemas de alto desempenho, criando estratégias de controle, segurança e automação particulares para cada planta industrial de processo;
- inserir a experiência da companhia de projetos anteriores, considerando o histórico de problemas associados a instalações existentes;
- inserir a experiência operacional da companhia;
- dar suporte técnico, analisando e promovendo a solução de problemas sistêmicos;

A figura 5 mostra uma tela do sistema onde se pode consultar sobre um certo detalhe da instalação, da automação e do controle de uma planta industrial. Maiores detalhes deste sistema podem ser obtidos em [Campos e Saito, 2004][Saito et al., 2002].

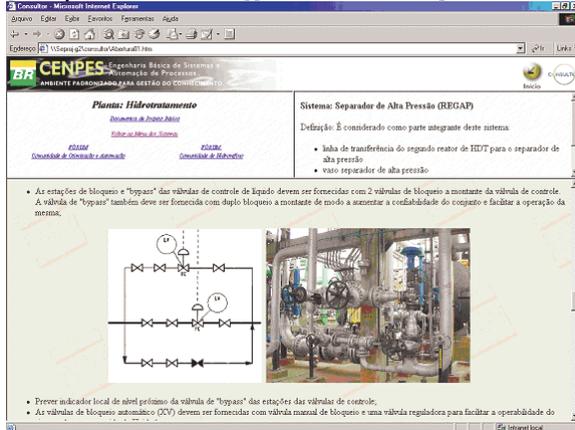


Figura 5 – Sistema para a gestão dos conhecimentos.

5. Introdução as Redes Neurais

A rede de neurônio multicamadas é um sistema artificial [Rosenblatt, 1962] composto de células elementares, chamadas de neurônios, e organizada em camadas sucessivas que são conectadas entre elas.

Uma rede neural adaptativa, como o seu próprio nome indica, representa uma estrutura em rede cujo comportamento das relações entre os dados de entrada e saída é determinada pelos valores de uma coleção de parâmetros modificáveis. Mais especificamente, a configuração de uma rede neural é composta por um conjunto de nós (os neurônios) conectados através de conexões diretas, onde cada nó é uma unidade do processo que executa uma função estática sobre os seus sinais de entrada para gerar um único valor de saída, e cada conexão especifica a direção do fluxo do sinal, de um nó para outro. Normalmente, a função de cada nó é dada por uma função parametrizada, com parâmetros variáveis. Através da alteração destes parâmetros, o comportamento da função nó é modificado, juntamente com o comportamento geral da rede.

6. Aplicações de Redes Neurais para a Inferência da Qualidade dos Produtos

Com o objetivo de permitir o acompanhamento, controle e a otimização das unidades industriais, são necessárias informações a respeito da qualidade dos

produtos. A sua determinação, na prática, pode ser feita através:

- das análises das correntes dos produtos no laboratório.
- da utilização de analisadores em linha, medindo continuamente a qualidade.
- da utilização um modelo matemático para calcular a propriedade. Esta metodologia é conhecida como inferência,

Cada uma destas possibilidades apresenta vantagens e desvantagens que devem ser analisadas para se determinar a sua aplicação. Os dados de laboratório são confiáveis mas costumam ser demorados e realizados com uma baixa frequência (diários) em função dos custos envolvidos. Desta forma, existe uma dificuldade de utilizar os dados de laboratório em um sistema de otimização em tempo real.

A opção de se instalar analisadores em linha é bastante interessante, desde de que tomados os cuidados necessários com o sistema de amostragem e com a manutenção e calibração do instrumento. Estes equipamentos são caros, e apresentam um custo de manutenção também alto, mas permitem que se tenha uma informação da qualidade dos produtos a cada, por exemplo, 10 minutos. Estes dados podem entrar em um sistema de controle e otimização que atua constantemente no processo para corrigir os desvios. O problema é que atualmente ainda não existem analisadores em linha confiáveis para muitas das variáveis que se deseja monitorar em uma unidade industrial.

A última opção é desenvolver uma inferência para a propriedade de qualidade desejada a partir de outras medições do processo. Estas aplicações também são chamadas de “soft-sensor”, ou melhor, um sensor baseado em um modelo matemático sendo executado, em tempo real, em um computador. As inferências podem utilizar várias técnicas:

- Modelos de regressão linear
- Sistemas “fuzzy”
- Redes neurais
- Modelos fenomenológicos

Vasconcellos et al. (2002) desenvolveram uma metodologia para a geração de um modelo de inferência para a qualidade dos produtos de uma coluna de destilação utilizando redes neurais. Esta metodologia foi empregada para o cálculo da

temperatura de destilação ASTM do diesel produzido na refinaria REPAR no Paraná,. Esta metodologia pode ser dividida em 3 fases principais:

- Coleta dos dados de processo
- Pré-processamento, isto é, escolha das variáveis mais representativas
- Treinamento da rede neural

Os dados necessários para o projeto da rede (treinamento, teste e validação) foram obtidos ao longo de um ano e meio de coletas. As variáveis operacionais (vazões, pressões e temperaturas), em número de 81 variáveis, eram obtidas diretamente da planta com uma frequência de um dado por minuto. Os dados de qualidade dos produtos eram obtidos do laboratório com uma frequência de três dados por dia.

Em função da grande quantidade de variáveis coletadas surge o primeiro problema: quais são as variáveis que realmente influenciam a variável a ser inferida? Esta pergunta deve ser respondida na fase de pré-processamento onde técnicas estatísticas são aplicadas de forma a se reduzir o número de variáveis. As seguintes técnicas estatísticas foram usadas:

- Análise dos componentes principais (PCA)
- Correlação cruzada

Vale ressaltar que a aplicação do PCA pode resultar em um conjunto de dados realmente menor, porém, sem garantir que as variáveis escolhidas se relacionam com a variável a ser inferida. Desta forma, devemos associar esta técnica com o uso da correlação cruzada pois, assim, levaremos em conta esta correlação descartando apenas as informações redundantes ou sem valor. Cuidado deve ser tomado quando durante o cálculo da correlação das variáveis, pois existe uma diferença de frequência entre os dados de processo (entrada da rede) e a informação de laboratório (saída da rede e variável inferida). Para maiores detalhes destas técnicas sugere-se consultar o trabalho de [Vasconcellos et al., 2002].

A figura 6 mostra o esquema utilizado neste projeto da inferência da qualidade utilizando redes neurais.

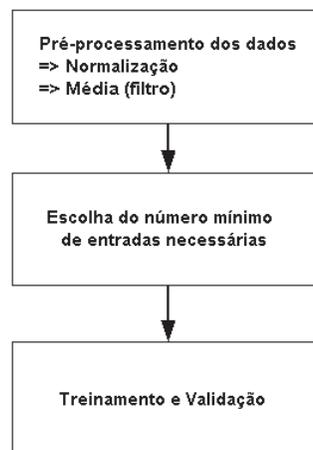


Figura 6 – Processo de geração da inferência.

A rede utilizada possuía três camadas, a de entrada, uma camada intermediária cujo número de neurônios era obtido de forma heurística, e um neurônio na camada de saída. Os neurônios utilizavam ativação do tipo “log-sigmoid”.

A figura 7 mostra o resultado da inferência da qualidade de um produto em tempo real ao longo de um mês de operações. Observa-se que a rede é capaz de prever as tendências de aumento e diminuição da qualidade do produto, e pode ser usada como variável de entrada de um sistema de controle. Nesta rede não existe um mecanismo para eliminar o erro estacionário da rede através de um “bias”, portanto existe um desvio em regime permanente. Porém deve-se lembrar que esta análise do laboratório pode apresentar uma variabilidade em torno de 8 graus Celsius, fato que permite aceitar esta diferença entre o valor calculado e o valor de processo.

A Petrobras utiliza o ambiente VIP-2.0 (Visualizador e Identificador de Processo) para geração de suas inferências, inclusive as baseadas em rede neural. Este software foi concebido inicialmente para a identificação de modelos de processo, porém observou-se que o mesmo dado poderia ser usado para a geração de modelos de inferência. O VIP 2.0 realiza não somente o cálculo dos coeficientes dos modelos de inferência mas também todo o pré-processamento mencionado anteriormente. A figura 8 mostra este software.

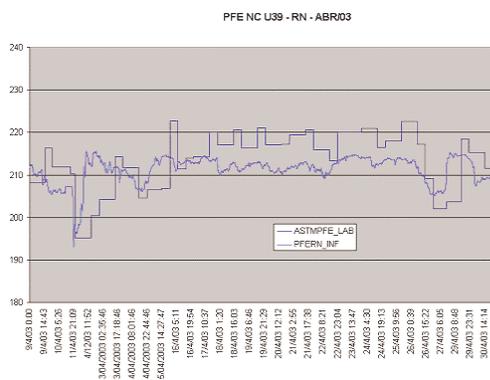


Figura 7 – Resultado da rede em tempo real contra as análises de laboratório.

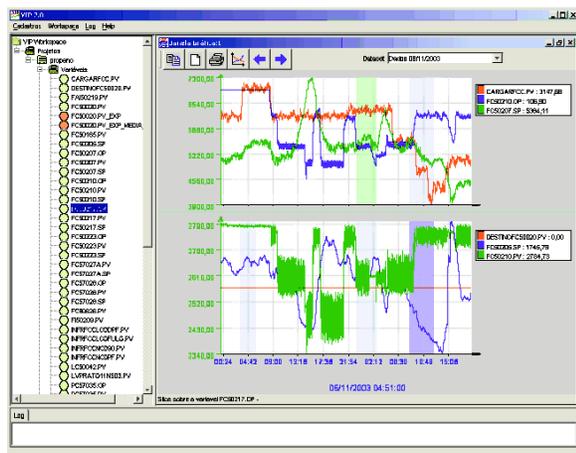


Figura 8 – Interface do VIP 2.0.

7. Conclusão

Como foi mostrado neste artigo, técnicas de sistemas especialistas podem auxiliar no aumento da segurança e na otimização das Unidades Industriais. Elas permitem padronizar os procedimentos, diminuindo a sobrecarga de trabalho dos operadores, principalmente durante situações críticas como as partidas das plantas. Elas também permitem disponibilizar conhecimentos especializados, como os associados ao controle de corrosão, para os operadores em tempo real. Estas ferramentas também podem ajudar na gestão dos conhecimentos de uma certa área, como o sistema “consultor” para a área de controle, automação e otimização de processos.

As redes neurais têm sido utilizadas principalmente para a elaboração de sensores virtuais, que enviam informações para os sistemas de controle avançado.

8. Referências Bibliográficas

- [1] Baptista, W. “Monitoração e controle da corrosão em refinarias utilizando uma abordagem de sistema especialista”, Tese de doutorado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil (2002).
- [2] Campos, M.M., e Saito, K. “Sistemas inteligentes em controle e automação de processos”, Ed. Ciência Moderna/Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil (2004).
- [3] Campos, M., Satuf, E. e Mesquita, M, “Intelligent system for start-up of a petroleum offshore platform”, ISA Transactions 40 – pp.283-293, (2001).
- [4] Correa, L.A., Baptista, W., Silveira, L.M., Vigo, J., Gomes, J.P. “Expert system application to gas treatment corrosion control”, in Proceedings of CORROSION’2000 - International Annual Conference and Corrosion Show, NACE, Orlando, Fla, USA (March 2000), paper n. 483, 2000.
- [5] Kermani, M.B. e Harrop, D. “The impact of Corrosion on Oil and Gas Industry”. Society of Petroleum Engineers, Middle East Oil Show, Bahrain (1995).
- [6] Lavet, P., "Systemes Experts en Turbo-Pascal", Ed. Eyrolles, Franca, (1987).
- [7] Mavrouniotis, M.L. Artificial intelligence in process engineering, Academic Press, CA (1990).
- [8] McGraw, K.L., e Harbison-Briggs, K. “Knowledge acquisition: principles and guidelines”, Prentice-Hall, NJ (1989).
- [9] Rolston, D.W. “Principles of artificial intelligence and expert systems development”, McGraw-Hill, Singapore (1988).
- [10] Rosenblatt, F., « Principles of Neurodynamics », Spartan Books, NY, (1962).
- [11] Russell, S. e Norvig, P. “Artificial intelligence: a modern approach”, (2nd Ed), Prentice Hall, (2002).
- [12] Saito, K., Campos, M. e Lopes, M., “Intelligent System for Knowledge Management in Petroleum Industries”, 17th World Petroleum Congress - Rio de Janeiro 02~05/Sep, 2002.
- [13] Schalkoff, R.J. “Artificial intelligence: an engineering approach”, McGraw-Hill, Singapore, (1990).
- [14] Vasconcellos, L.P., et al., “Inference of Distillation Column Products Quality using Bayesian Networks”, World Congress on Computational Intelligence (WCCI), Havaí, (2002).

Agradecimentos

Aos engenheiros, técnicos e operadores das Unidades da Petrobras e das Universidades que participaram direta ou indiretamente no projeto e na implantação destes sistemas especialistas e das inferências com redes neurais.