

O “*Plant Asset Management*” com *Objetos Inteligentes*

Antonio César Galhardi
Fatec Jundiaí – CEETPS - SP – Brasil
prof.galhardi@fatecjd.edu.br
Vivaldo José Breternitz
Faculdade Computação e Informática – Mackenzie – SP – Brasil
vjbreternitz@mackenzie.br

Resumo: Este artigo apresenta algumas aplicações de *Objetos Inteligentes*, no “*Plant Asset Management*”, associadas aos sistemas ERPs (Enterprise Resources Planning). Nota o uso de tal tecnologia, pela Petrobrás, no controle de plataformas de exploração de petróleo. Contempla as áreas de conhecimento que compõem a *Inteligência Artificial*: *Lógica Fuzzy*, *Redes Neurais Artificiais* e *Objetos Inteligentes*. Também apresenta vantagens do uso de uma interface amigável para os operadores. Apresenta as possíveis extensões de funcionalidades e a integração com outros sistemas. Retoma finalmente às aplicações que permitem reduções significativas de: custos, e incrementos de produtividade; além da relativa facilidade e rapidez de implantação.

Palavras Chave: *Objetos inteligentes, Plant asset management, Inteligência artificial.*

Abstract: This paper presents some applications of *Intelligent Objects*, in the *Plant Asset Management*, associated with the ERPs (Enterprise Resources Planning) systems. It notices the use of such technology, by Petrobrás, in the control of petroleum exploration platforms. It contemplates the knowledge areas that compose the *Artificial Intelligence*: *Logical Fuzzy*, *Artificial Neural Nets* and *Intelligent Objects*. It also presents advantages of the use of a friendly interface with the operators. It presents the possible functionalities' extensions and the integration with other systems. It retakes finally to the applications that allow significant reductions of: costs, and productivity increases; besides the relative easiness and high-speed to implant.

Key Words: *Intelligent objects, Plant asset management, Artificial Intelligence.*

I. Introdução

Estudos da *ARC Advisory Group* previam para início deste século um crescimento de 10% ao ano para os sistemas de monitoramento condicionante e para o *Asset Management*. Segundo a análise, a capacidade de ter sob observação em tempo real a “saúde” dos equipamentos industriais é a chave para o sucesso na otimização de *Sistemas de Manufatura* [1].

Os fatores que impulsionaram este tipo de desenvolvimento compreendem:

- a necessidade de reduzir os custos de manutenção;
- a melhoria da capacidade de previsão e manutenção;

- a redução de paradas não previstas para correção de problemas com maquinário.

A proposta de integrar as aplicações deste tipo, com os Sistemas de Gestão tem impulsionado a concepção do “*Plant Asset Management*”, em que os sistemas de monitoramento condicionante, o planejamento da manufatura (manutenção preditiva) e o ERP, operam de maneira coordenada, para uma gestão integrada dos sistemas de manufatura. Quando são considerados os problemas de processo e de funcionamento anômalos dos Sistemas de Manufatura, se tem em mente, que a princípio os acidentes com danos físicos e pessoais, e a conseqüente parada de produção, são os mais importantes.

Este é um aspecto importante, mas por outro lado, de baixa ocorrência. Frequentemente as conseqüências de mau funcionamento e de condições anômalas são menos evidentes, e não interrompem a produção, mas podem assim mesmo, causar importantes perdas econômicas, se não gerenciadas corretamente, e se tornam acidentes.

O custo da gestão, causado pelas anomalias de processo tem representado um incentivo bastante consistente para a evolução do “*Asset Management*”, que evoluiu como uma função mais elevada do controle de processo; e tem incorporado elementos de controle, com modelos preditivos. Ainda mais recentemente vem empregando técnicas de Inteligência Artificial, no gerenciamento da operação e manutenção de Sistemas de Manufatura [2].

Uma experiência interessante é a da Petrobrás em suas plataformas petrolíferas. Cada plataforma extrai petróleo, e além de prover a separação óleo-água-gás, uma parte do gás é destinada à geração de energia elétrica para a própria plataforma. Assim a dependência estreita do correto funcionamento de todo o processo (seja no que se refere à capacidade extrativa, ou à geração de energia elétrica), torna bastante crítica a automação da planta.

Por esta razão a Petrobrás decidiu abandonar o controle tradicional baseado em Controladores Lógicos Programáveis - CLPs, e implantar um módulo de supervisão inteligente, baseado no Sistema Especialista G2 da Gensym. A introdução desse módulo que permite apresentar uma visão geral da planta coordena as várias operações e reconhece imediatamente o mau funcionamento, permitindo a redução das paradas nas plantas.

II. Conceituação Teórica

A Lógica *Fuzzy* é baseada na teoria dos “conjuntos *fuzzy*”, e sua capacidade de gestão, por meio do “valor verdade”, é capaz de representar quanto o resultado de uma operação se avizinha dos estados: “verdadeiro” ou “falso”. Um conjunto *fuzzy* caracteriza-se pela inexistência de um contorno bem definido que limite o conjunto, e que permita identificar se um determinado objeto pertence ou não a ele [3].

A relação entre o objeto e o conjunto é definida em termos do conceito de “pertinência”, onde a cada elemento de um conjunto está associado um valor de pertinência, que indica quanto tal objeto pode ser considerado pertencente ao conjunto. Por meio desta tecnologia é possível e natural reconhecer aspectos como: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, etc [4].

A Lógica *Fuzzy* opera de maneira similar ao cérebro humano, por agregar certo número de verdades parciais, e em nível superior, o que permite gerar ulteriores eventos como, por exemplo: a criação de um alarme ou a mudança de um *set point* [5].

As Redes Neurais Artificiais constituem um conjunto de programas e estruturas de dados, capazes de emular o raciocínio do cérebro humano. Esta tecnologia se inspira nas redes neurais biológicas no que se refere ao alto grau de paralelismo computacional (se bem que a rede neural artificial é infinitamente menor que a do cérebro humano) e com a capacidade de aprender com a experiência [6].

As Redes Neurais Artificiais podem ser reconduzidas a um conjunto de multi-processadores simples (os neurônios), onde cada um deles possui uma pequena memória local. Os neurônios se comunicam entre si por meio de canais de comunicação (conexões) capazes de transportar informações numéricas oportunamente codificadas. Qualquer neurônio, que opera paralelamente a outro, tem à sua disposição os dados locais, e os “*inputs*” que recebe por meio de suas conexões, permite-os intervir sobre tais dados, aplicando uma função não linear, bastante simples, anteriormente “*tarada*” por meio de um processo de “*adestramento*” da rede. Fato utilizado para registrar a estória da variável que representa os *inputs* e *output* da mesma rede.

A implementação de aplicações baseadas em redes neurais é relativamente simples, quando se dispõe de um software oportuno, que permita operar de maneira razoável, frente à grande quantidade de dados.

Na Figura 1 apresenta-se o esquema de funcionamento do ciclo de “*adestramento*” e utilização de modelos baseados em Redes Neurais Artificiais. O primeiro passo refere-se à coleta de dados históricos relativos ao processo a ser emulado. Estes dados devem ser significativos e suficientemente variados para compreender a inteira gama de situações a se reproduzirem na Rede Neural. Graças a instrumentos matemáticos, estatísticos e gráficos é identificado um conjunto de dados a serem utilizados na fase de *adestramento* da rede, onde teoricamente é ensinado à rede o comportamento do processo. Uma vez finalizada esta fase, ter-se-á à disposição um modelo de processo do tipo “*caixa preta*” que poderá ser utilizado em linha, como parte de uma solução mais ampla.

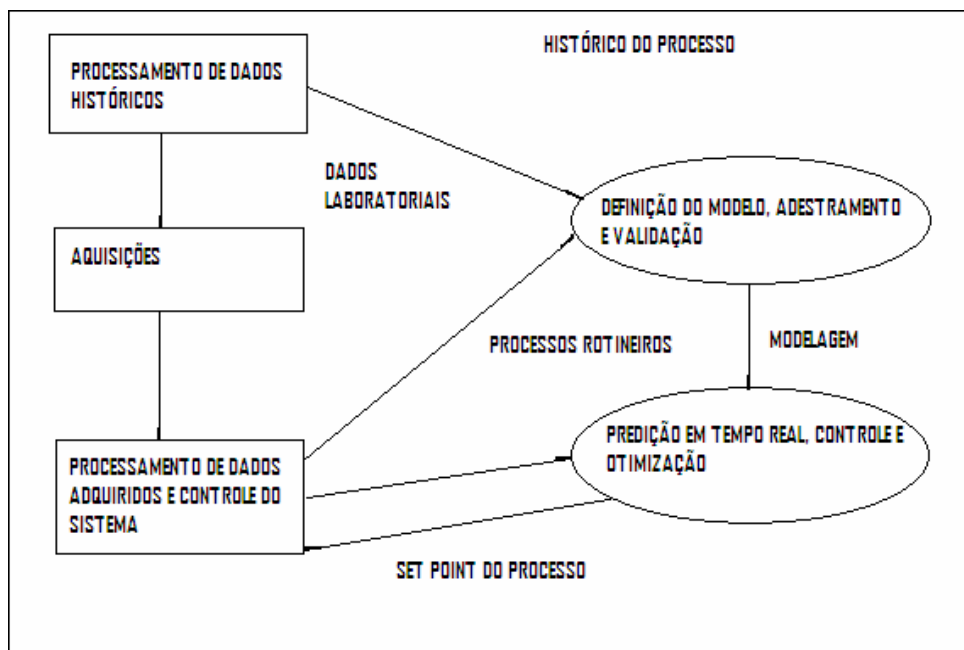


FIGURA 1 – Ciclo de Adestramento e utilização de modelos baseados em Redes Neurais.

A união de Redes Neurais, Sistemas Especialistas e da Lógica *Fuzzy* permite obter soluções mais robustas, capazes de fornecer um “cordão de segurança” em torno da Rede Neural, para se desfrutar de sua melhor capacidade preditiva (por exemplo: reconhecendo os diferentes modos operativos e endereçando o modelo neural mais adequado à condição operativa em ação). A capacidade preditiva das Redes Neurais é boa, com precisão e acurácia confrontáveis com a dos instrumentos de hardware, porém com grau de confiança muitas vezes superior. De fato, o único tipo de manutenção necessária para uma Rede Neural, é uma atualização periódica das ponderações associadas às diversas conexões, para a obtenção dos modificadores originados no processo.

Ainda que tal tecnologia esteja disponível há mais de 50 anos, somente nos últimos anos foi possível difundir-se em termos de aplicações práticas, principalmente graças ao aumento considerável da capacidade de processamento dos computadores e da contemporânea e sensível diminuição de seus custos.

Graças à sua flexibilidade as Redes Neurais têm encontrado aplicações nos mais diversos campos; na indústria, suas principais utilidades são[7] :

- inferência da grandeza de medidas não facilmente mensuráveis com instrumentos (hardware) ou em tempo real;
- filtragem de sinais afetos por ruídos, validação e reconstrução de medidas;
- reconhecimento de parceiros, e identificação de perdas.

Os Sistemas Especialistas segundo um de seus criadores [8]:

“Um Sistema Especialista é um programa que usa conhecimento e técnicas de raciocínio para resolver os problemas que normalmente necessitariam da ajuda de um especialista no assunto. Um Sistema Especialista deve ter a capacidade de justificar ou explicar o porquê de uma solução particular para um dado problema”.

Deste ponto de vista, um Sistema Especialista é o instrumento ideal para executar função normalmente delegada a uma pessoa com profundo conhecimento de determinado assunto, ou avaliar as decisões pessoais, por meio de indicações e sugestões.

As características genéricas de um Sistema Especialista são:

- Capaz de realizar uma mesma ação ou mesmo julgamento de uma pessoa com profundo conhecimento sobre o sistema controlado;
- Fornecer justificativa da conclusão obtida de maneira a validar o próprio funcionamento;
- Obter uma conclusão, mesmo sem dispor de todas as informações;

No caso das informações disponíveis ser insuficiente, adquirir o quanto necessário, e de maneira automática, ou requisitar suporte aos operadores.

Tipicamente um Sistema Especialista compreende uma base de conhecimentos, que contêm a experiência humana acumulada sobre o processo, e um conjunto de regras capaz de aplicar a base de conhecimento a um escopo particular. Seja à base de conhecimento como o conjunto de regras capazes de se adaptarem às situações novas ou mutantes. Algumas aplicações típicas de processo compreendem: suporte à decisão, identificação de perdas, diagnósticos, validação de sinais, segurança de operação, estimativa inferencial, otimização, etc.

Os Sistemas Especialistas mais recentemente são capazes de conviver tanto com a programação convencional, como com a programação orientada ao

objeto, e em alguns casos até com linguagens de programação completamente gráficas. A utilização de linguagens orientadas ao objeto permite uma maior abstração de dados, e ao mesmo tempo, uma representação mais intuitiva da informação [9]

Tomando como exemplo uma rede de distribuição de fluídos, os Sistemas Especialistas são capazes de efetuar a inferência sobre a base de conexões dos objetos, ou da relação lógica dentre eles, assim, o mapa de domínio tornar-se-á um componente ativo da base de conhecimento. As vantagens deste tipo de aproximação é o maior controle do software utilizado, uma vez que a cadeia de raciocínio é visualizada de maneira clara, mostrando as diferentes ramificações do pensamento. Isto significa uma ajuda considerável ao desenvolvimento de aplicações, que por si só justificam sua manutenção. O mecanismo de inferência de regras, de fato, é muito potente, mas pode se tornar extremamente complexo, principalmente quando se considera um elevado número de regras.

O uso de linguagens gráficas de programação, derivado do paradigma "Programação Orientada ao Objeto - OOP", é útil para se efetuar cálculos e elaborações seqüenciais dos dados de entrada, sejam para se construir os modelos de árvore, ou modelos genéricos de perdas.

Uma ulterior utilização evolução dos Sistemas Especialistas em tempo real é a que adiciona o aspecto de raciocínio puro da dimensão temporal, tornando-se capaz de raciocinar sobre dados baseados no tempo, como aqueles gerados no controle de processo.

Neste contexto a Inteligência Artificial, e em particular os Sistemas Especialistas, podem vir a ser muito importante, e se tornarem o elemento principal para a comunicação dos diferentes mundos da automação, controle avançado, manutenção, gestão; adquirindo dados interpretando-os e restituindo-os com o valor que a experiência acumulada pelo homem da operação pode trazer [10].

A condução do sistema de manufatura em condições estáveis prevê: métodos, objetivos e importação de dados, que são bem conhecidos e gerenciados sem problemas específicos de software ou instrumentação convencional. Se por outro lado, se explora condições operativas não estáveis, a eficiência dos controles tradicionais pode diminuir rapidamente e culminar em uma situação de difícil controle. Soluções algorítmicas de software e baseadas em equações podem funcionar de maneira satisfatória, até certo nível; porém quando o sistema se torna muito complexo e interconexo, seu emprego já não é suficientemente satisfatório. Por estas razões as técnicas de Inteligência Artificial têm sido sempre mais utilizadas para a previsão de perdas com matérias primas, do que para a gestão dos inconvenientes do processo antes que estes representem um forte impacto econômico [11].

Se as condições de processo pudessem ser sempre determinadas com exatidão e antecipadamente, a modelagem de software seria suficiente. Todavia o desgaste e as condições anômalas do processo introduzem sempre, certo grau de incerteza e de imprevisibilidade, dadas as inter-relações e inter-conectividade dos processos; o que traz à tona a análise da potencialidade de técnicas avançadas, tal qual a Inteligência Artificial [12].

Considerando-se os sistemas de *Asset Management*, como não necessariamente adquirentes de dados em tempo real, uma vez que se limitam a verificar periodicamente a utilidade para a gestão. Todavia uma aproximação deste tipo representa algo mais do que um registro histórico de dados, e não

adiciona valores, uma vez que não se usufrui a compreensão dos estados do processo, a fim de prevenir anomalias. A união destas tecnologias com os sistemas avançados baseados na Lógica *Fuzzy*, ou em modelos de Redes Neurais, permitem a melhoria significativa do resultado final, uma vez que, são capazes de identificar de maneira pró-ativa os problemas, permitindo a intervenção antecipada, antes que o dano se verifique realmente [1].

A tecnologia típica da Inteligência Artificial, que tem sido particularmente útil para o *Asset Management*, trata daquilo que é perfeitamente notado, ou de difícil previsão. Tal tecnologia faz uso da Lógica *Fuzzy*, Redes Neurais, Sistemas Especialistas; estes últimos ainda distintos em duas categorias: em tempo real, e não em tempo real. Estas tecnologias podem conviver perfeitamente com outros elementos como: modelos preditivos, estatística, algoritmos de vários gêneros e softwares tradicionais [13].

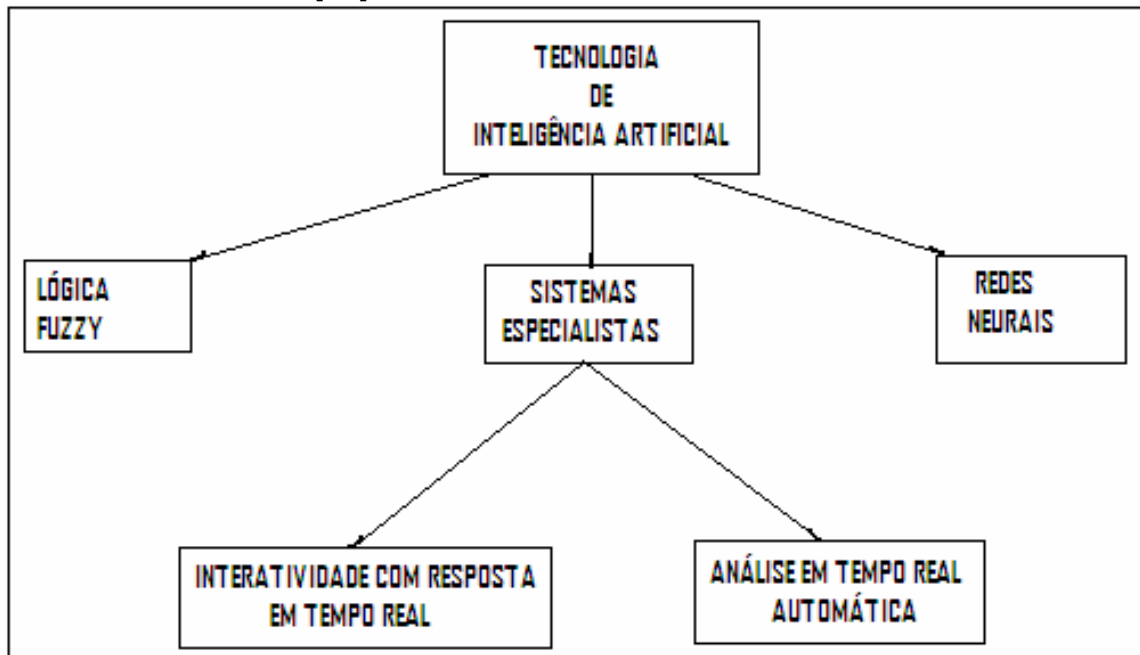


FIGURA 2 – Tecnologia Clássica da Inteligência Artificial.

Graças à sua flexibilidade as Redes Neurais têm encontrado aplicações nos mais diversos campos; na indústria [7], suas principais utilidades são:

- inferência da grandeza de medidas não facilmente mensuráveis com instrumentos (hardware) ou em tempo real;
- filtragem de sinais afetos por ruídos, validação e reconstrução de medidas;
- reconhecimento de parceiros, e identificação de perdas.

Como descrito anteriormente, a tecnologia de Inteligência Artificial, e em particular dos Sistemas Especialistas; podem ajudar a identificar tempestivamente condições críticas dos equipamentos de uma planta de manufatura, gerando o *“early warning”*. Isto oportunamente empregado, permite obter intervenções tempestivas, seja do ponto de vista operativo, ou de manutenção, evitando-se que a situação se degenere.

A aproximação Objeto-Orientado permite a captura eficaz do conhecimento de especialistas em objetos inteligentes genéricos, componentes de softwares capazes de efetuar em tempo real o monitoramento das condições de aparelhagem simples, e usadas em combinação entre si, de uma planta complexa [14].

Tais objetos, que formalizam o conhecimento operativo específico para vários aparelhos, podem ser estruturados de modo tal que permitam um rápido emprego em diversos contextos, de acordo com suas configurações, sem que para isto seja necessário o desenvolvimento de um código.

No interior de qualquer componente, de fato, está encapsulado, um alto nível de conhecimento especialista para cada aparelho específico, obtido sobre uma base de informações especialistas de diversas extrações: operadores, controladores de processo, funcionários da manutenção, projetistas, construtores de máquinas, etc.

Esta aproximação permite resolver um ponto crítico dos Sistemas Especialistas: a formalização do conhecimento. Em geral esta é a etapa mais importante, e necessita da intervenção pessoal especializada, capaz de recolher a informação necessária a partir da documentação existente, e de entrevistas com os especialistas de processo. Ser capaz de descrever o interior de um objeto genérico e reutilizável é o problema típico e com efeitos mais significativos para uma planta de manufatura, o que direciona a busca de uma nova aplicação, e ainda com posteriores refinamentos e personalizações.

Os aparelhos típicos que compõem uma planta de manufatura são geralmente simples, embora críticos sejam do ponto de vista econômico, ou de segurança de funcionamento. Alguns exemplos de Objetos Inteligentes são: fornos de processo; compressores, colunas de destilação, sensores, trocadores de calor, bombas, motores, etc.

O escopo principal dos Sistemas de Inteligência Artificial é o de identificar quais são os eventos mais significativos no processo. Tais eventos podem ser descritos como um conjunto de condições que necessitam de uma intervenção, ou reconhecimento por parte dos operadores de processo. O evento pode ser gerado pela lógica de diferentes complexidades, desde a simples verificação da separação de um limite, a um conjunto de condições que combinados entre si, indicam um problema em potencial ao processo. Por exemplo, um objeto inteligente, do tipo forno, pode identificar eventos alarmantes, e informar os operadores dos possíveis problemas que podem compreender desde a perda de eficiência, o risco ambiental, condições dos queimadores, acúmulo excessivo de resíduos de combustível, etc.

Os Objetos Inteligentes são capazes de fornecer as seguintes funcionalidades:

- Identificação antecipada e pró-ativa das condições anômalas, com o escopo de manter a operação em sua zona de normalidade, e reconduzí-la a tal zona se ocorrer algum desvio;
- Representação genérica para consentir a usabilidade de uma mesma família de equipamentos;
- Encapsulamento do conhecimento especialista, para poder ser colocado em funcionamento, por pessoal não especializado;
- Route-Cause-Analysis, para produzir mensagens de alarme, inteligentes e filtradas, que incluem: conclusão, diagnósticos e um guia para a solução de problemas.

A indicação preditiva de eventos e perdas é uma medida possível graças à combinação de técnicas típicas de Inteligência Artificial, com algum outro recurso estático.

A projeção de valores representa uma das capacidades mais importantes para um Objeto Inteligente, porque permite prever o valor futuro de uma medida,

em base à análise de dados correntes e históricos. Quando a projeção de um valor indica que a variável pode superar a faixa limite de estabilidade, pode ser gerado um evento de previsão de superação do limite, para servir como mensagem de alerta para um operador ou para um Objeto Inteligente mais complexo.

Outra tecnologia amplamente utilizada é a da Lógica *Fuzzy*, que identifica eventos complexos no processo, determinados por múltiplos *inputs*, ou ainda porque os limites operativos são difíceis de determinar. Tal tecnologia permite emular o raciocínio, para níveis nebulosos, típicos do cérebro humano, e normalmente empregado por operadores, na avaliação de problemas de processo. O emprego da Lógica *Fuzzy* torna ainda mais simples a aplicação de software, sobretudo aqueles que se referem à acentuação da faixa de alarme, que se tornaram menos críticos, do que com a Lógica Booleana tradicional [15].

A análise estatística, enfim, permite reconhecer anomalias, como por exemplo: grandes alterações de processo, sinais afetos por ruídos, variações nos instrumentos, e picos de sinais.

III. Desenvolvimento das Potencialidades

A característica mais evidente dos Objetos Inteligentes é a de serem concebidos como produtos *“out of the box”*, ou seja, que não necessitam do desenvolvimento de software específico, mas são se comunicam imediatamente, a partir de uma simples configuração.

Esta característica, todavia, não implica em limitação à sua expansão. De fato, a lógica assinalada a cada objeto pode ser livremente a mesma, com identificação de novos eventos e adicionados a partir de outros diagramas de perdas, para a gestão de situações particulares, ou evolução na aparelhagem monitorada. Assim, como descrito anteriormente, cada objeto inteligente pode operar de maneira autônoma, ou ser coligado a outro, para a gestão de aparelhagem complexa, ou à toda planta.

Pela sua estrutura, os “Objetos Inteligentes” servem para serem integrados como sensores de inferência baseados em Redes Neurais, que podem ser inseridos de maneira nativa na aplicação que “hospeda” o objeto, ou ainda nos casos particularmente complexos, onde são executados nas máquinas distribuídas, e coligadas em redes aos aplicativos do Objeto Inteligente.

Por meio das Redes Neurais é possível, por exemplo, validar uma medida adquirida de sensores de hardware, fornecendo valores reconstruídos, no caso de que a medida original resultante, não seja confiável. Ou ainda, sugerir valores ótimos para minimizar a função de custo pré-definida, por meio de modelos específicos de otimização neural, capaz de modelar quer seja o processo em questão quer seja de sua variável de estado. Naturalmente um sistema de gestão de desempenho pode recorrer-se de um mix de tecnologias, que incluem modelos matemáticos, algoritmos de otimização tradicional e modelos heurísticos.

Um outro âmbito que pode ser interessante intervir é a do extensor da lógica *“Root – Cause – Analysis”*. Em particular é disponível uma linguagem de programação gráfica que permite implementar o modelo de perda genérico e descreva a relação causa-efeito, entre eventos. Utilizando-os é possível incrementar ainda mais a capacidade de investigação dos Objetos Inteligentes.

Enfim, levando-se em conta a interface com o operador, os Objetos Inteligentes apresentam diversas soluções que permitem visualizar os resultados

do monitoramento e da análise deles versus um sistema cliente. Neste caso, é possível recorrer a tal tecnologia, inserindo o cliente diretamente na página-vídeo desejada, ou ainda criando-se uma solução ad-hoc.

A integração com outros sistemas é um aspecto de fundamental importância, visto à necessidade da automação industrial versus a arquitetura aberta, e capaz de trocar informações com facilidade. No caso de sistemas especialistas, ou de Objetos Inteligentes utilizados no “*Plant Asset Management*”, é de particular interesse, devido à capacidade de interface e o campo aplicado, geralmente com sistemas de automação, coligados a aplicativos para gestão da manutenção.

A interface com a automação de plantas de manufatura ocorre sempre por meio do protocolo OPC, que permite apoiar a comunicação a um padrão robusto, eficiente e aceito pela maioria dos construtores. A conexão com sistemas de gestão de manutenção é também de fundamental importância, porque permite completar o ciclo de “*Plant Asset Management*”, culminando na implantação de programas de manutenção baseados sob condições de responder ao planejamento tempestivo da atividade de manutenção, limitando ao mínimo o tempo de parada da planta. A comunicação entre Objetos Inteligentes e sistemas de manutenção podem ainda apoiar-se no protocolo OPC, que permite a troca de dados de maneira complexa, espelhando diretamente a estrutura orientada ao objeto do Sistema Especialista. Outras soluções prevêm a utilização de tecnologia COM-DCOM da Microsoft e o aplicativo *Active-X*, ou ainda a integração por meio da linguagem de programação JAVA.

Numa possível solução de “*Plant Asset Management*” o Sistema Especialista adquire dados em tempo real, diretamente do campo, transmite-os ao sistema de controle encarregado da automação do processo, ou por meio da base de dados em tempo real da planta. Pela lógica preditiva, o sistema especialista reconhece condições de possíveis perdas e ativa “*triggers*” que são enviados ao sistema de gestão de manutenção. Onde de maneira autômata, é gerada uma ordem de produção, e escaladas as atividades da equipe de manutenção.

Se o tipo de intervenção previsto necessita de material específico, será elaborada pelo ERP, uma requisição, que primeiramente verifica a existência do item em estoque, ou gera uma ordem de compra da quantidade necessária. Com base ao intervento necessário e às perdas (que o Sistema Inteligente é capaz de avaliar), o Sistema ERP é capaz de re-escalonar as atividades produtivas, levando-se em consideração a situação contingente.

IV. Considerações Finais

A utilização da tecnologia de Objetos Inteligentes tem permitido a obtenção de resultados apreciáveis em diversas frentes. Acima de tudo na gestão de objetos críticos como: compressores, colunas de destilação, fornos, etc; com características de tempestividade e confiança nos dados, descritas anteriormente e que têm permitido melhorar a segurança das plantas de manufatura. Um outro aspecto importante onde os “Objetos Inteligentes” fornecem interessantes resultados, sob o ponto de vista econômico, isto porque o uso de tais softwares faz com que as operações sejam conduzidas de maneira melhor, enquanto a aparelhagem pode trabalhar com maior eficiência, reduzindo o consumo e aumentando a produtividade. Há ainda o fato, da capacidade de se antecipar aos

problemas, com sinalização tempestiva que permite reduzir as paradas não programadas, com óbvio e imediato benefício econômico.

Do ponto de vista de instalação é freqüentemente disponível a estrutura “out-of-the-box” de softwares, e a completa configuração de objeto, gerada por janelas de comunicação, que permitem a “posta em marcha”, em condições normais de utilização, em tempo aproximado de duas semanas, reduzindo drasticamente o custo final de aplicação.

Em geral, os projetos de aplicação baseados em “Objetos Inteligentes” apresentam um *pay-back* estimado de seis meses.

Referências Bibliográficas:

- [1] GHOSH, A., WOLL, D., Abnormal Condition Management – The missing Link between Sustained Performance e Costly Disruptions, ARC Advisory Group, 2001.
- [2] WATERBURY, B. Artificial Intelligence Expands Frontiers in Asset Management, *Control Magazine Sarle*, WS, 2000.
- [3] ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338-53, 1965.
- [4] ZADEH, L. A. *Toward a theory of fuzzy systems*. In: KALMAN, R. E. e DeCLARIS, N. (Eds). *Aspects of network and system theory*. New York: Holt, Rinehart and Winston, p. 469-490, 1971.
- [5] YEN, J. *Fuzzy logic: a modern perspective*. In: IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, v. 11, n. 1, 1998
- [6] GERSHENSON, C. Modelling emotions with multidimensional logic. In: *Proceedings 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS'99)*, p. 42-46, 1999.
- [7] SIEGEL, D. Minimizing Process Disruptions and Sustaining Performance through Expert Systems technology, *National Petroleum Refiners Association*, Computer Conference, Dallas Texas, USA, 2001.
- [8] FEIGENBAUM, E. The Art of Artificial Intelligence, 1: *Theories and case studies in knowledge engineering*. Proc. 5th IJCAI, 1977.
- [9] ZIEMKE, T. e SHARKEY, N. E. A stroll through the words of robots and animals: applying Jakob von Uexküll's theory of meaning to adaptive robots and artificial life. *Semiótica* 134 1/4, p. 701-746, 2001.
- [10] SEARLE, J. Minds, brains, and programs. *The behavioural and brain sciences*, v.3, p. 417-424, 1980.
- [11] WOOLDRIDGE, M. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley & Sons. Chichester, Inglaterra, 2002.
- [12] RUSSELL, S. and NORVIG, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall, USA, 2002
- [13] NILSSON, N. J. Artificial Intelligence: A New Synthesis. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, USA, 1998.
- [14] WADLER, P. *Proofs are Programs: 19th Century Logic and 21st Century Computing*, 2000 <<http://www.research.avayalabs.com/user/wadler/topics/history.html>>. Acesso em: fevereiro 2010.
- [15] DRESNER, E. Boolean algebra and natural language: a measurement theoretic approach. *Nordic Journal of Philosophical Logic*, v. 4, n. 2, p. 175–189, 2000.