

# ARQUITETURA DE UM SISTEMA MULTIAGENTE AUTÔNOMO PARA SUPERVISÃO E CONTROLE

QUEIROZ, Jonas Felipe Pereira de  
Universidade Estadual Paulista (UNESP – Rio Claro)  
jonnas@rc.unesp.br

GUILHERME, Ivan Rizzo  
Universidade Estadual Paulista (UNESP – Rio Claro)  
ivan@rc.unesp.br

**RESUMO:** Neste trabalho é apresentada uma arquitetura multiagentes voltada para o desenvolvimento de sistemas de supervisão e controle de processos, tendo como objetivo principal automatizar tarefas que são repetitivas e cansativas, além de sujeitas a erros quando realizadas por seres humanos. A partir do estudo de um conjunto de aplicações, presentes na literatura, que utilizam a abordagem de sistemas multiagentes para a integração de dados e monitoramento de processos para a detecção e diagnósticos de falhas, foram identificados um conjunto de agentes que são utilizados como base na definição da arquitetura multiagente proposta. Um protótipo de um sistema para a análise de anormalidades durante a perfuração de poços de petróleo foi desenvolvido.

**PALAVRAS-CHAVE:** agentes de software; arquitetura multiagente; sistemas de supervisão e controle.

**ABSTRACT:** *This paper presents a multi-agent architecture that was designed to develop processes supervision and control systems, with the main objective to automate tasks that are repetitive and stressful, and error prone when performed by humans. A set of agents were identified, based on the study of a number of applications found in the literature, that use the approach of multi-agent systems for data integration and process monitoring to faults detection and diagnosis, these agents are used as basis of the proposed multi-agent architecture. A prototype system for the analysis of abnormalities during oil wells drilling was developed.*

**KEYWORDS:** *software agents; multi-agent architecture; supervisory and control systems.*

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, especialmente devido ao desenvolvimento de novas tecnologias, houve um aumento na utilização de controladores e sensores nas indústrias, principalmente nos setores de produção, gerando ambientes complexos caracterizados por um grande número de componentes heterogêneos e a alta conectividade entre eles. Esses componentes correspondem a equipamentos, instrumentos e outros sistemas instalados nos ambientes industriais, e são responsáveis pela medição de parâmetros, controle de equipamentos e máquinas, e gerenciamento dos processos envolvidos. Nesses ambientes complexos é gerado um grande volume de dados em diversos formatos, provenientes dos vários componentes, e com isso cresce a demanda pela integração e análise desses dados a fim de

melhorar o gerenciamento dos processos e do controle das operações. A grande quantidade de informações produzidas criam cenários onde pessoas não são mais capazes de administrar, supervisionar e controlar todas as atividades envolvidas (BRAZIER, KEPHART, *et al.*, 2009).

A fim de automatizar o gerenciamento e execução dos diversos processos e tarefas nesses ambientes há a necessidade de abordagens que suportem o projeto e desenvolvimento de sistemas computacionais para a integração e o controle dos vários componentes, fornecendo também ferramentas para auxiliar os profissionais no monitoramento dos processos e nas tomadas de decisão. Nesse sentido, a abordagem de sistemas multiagente (SMA) é uma tecnologia que vem sendo muito usada, não só nas pesquisas acadêmicas, mas em alguns projetos industriais (PECHOUČEK e

MARÍK, 2008), e é apontada como uma das mais promissoras técnicas para o desenvolvimento de sistemas complexos. Essa abordagem oferece um caminho promissor e inovador para entender, desenvolver, gerenciar e manter sistemas computacionais distribuídos, em larga escala, dinâmicos, abertos e heterogêneos (JENNINGS, 2001).

Um outro aspecto importante é que o gerenciamento desses sistemas além de exigir muito tempo dos profissionais, envolve atividades que demandam de mão de obra específica e qualificada para tratar situações imprevistas, como a reconfiguração do sistema em caso de mudanças no ambiente, restabelecer o funcionamento do sistema em caso de falhas, entre outras. Para lidar com esses problemas há a necessidade de sistemas computacionais com capacidades de se auto-gerenciar, de forma que seja necessária a mínima intervenção humana, liberando os profissionais das tarefas que podem ser automatizadas para que possam executar atividades de mais alto nível.

Nesse sentido, neste trabalho é apresentado os resultados de um estudo para o desenvolvimento de uma arquitetura de software utilizando a abordagem de sistemas multiagentes para a construção de sistemas autônomos para a supervisão e controle de processos. No estudo foram identificados, em trabalhos correlatos, os aspectos relacionados a sistemas multiagentes voltados para as atividades de supervisão e controle. A arquitetura em questão deverá apresentar características e mecanismos para a análise e integração dos dados gerados, recuperação de falhas, se adaptar a mudanças no ambiente, otimizar seus processos, e fornecer interfaces gráficas para auxiliar os usuários na supervisão e controle dos processos assim como nas tomadas de decisão.

## 2. Sistemas multiagentes

O paradigma de sistemas multiagentes apresenta uma nova abordagem para o desenvolvimento de sistemas de software, diferente da abordagem Orientada a Objetos (OO), mas não é vista como uma abordagem para substituir a abordagem

OO. Ao invés disso é proposto como uma nova solução para complementar esse paradigma no desenvolvimento de aplicações onde as abordagens convencionais não oferecem os recursos e abstrações necessárias. Esse paradigma viabiliza a resolução de problemas de outra forma que não a tradicional, apresentando novas formas para resolver problemas complexos e distribuídos.

Segundo (JENNINGS, 2000; WOOLDRIDGE, 2002), um agente é um sistema computacional encapsulado que está situado em um ambiente e que é capaz de agir de forma flexível e autônoma neste ambiente, a fim de alcançar seus objetivos de projeto. Assim, agentes são componentes com interfaces bem definidas (sensores e atuadores), através das quais são capazes de perceber e agir no ambiente de forma autônoma, ou seja, possuem controle sobre seus estados e comportamentos, a fim de realizar tarefas para alcançar seus objetivos. Eles podem agir em respostas a mudanças do ambiente e são independentes da intervenção humana ou de outros sistemas para tomar decisões.

Os agentes apresentam um conjunto de propriedades (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995; WOOLDRIDGE, 2002): autonomia – operam sem a intervenção direta de humanos ou outros sistemas e possuem controle sobre suas ações e estados; habilidade social – capacidade de interagir com outros agentes utilizando uma linguagem de comunicação que permite aos agentes negociarem e cooperarem para alcançar seus objetivos; reatividade – capacidade de agir em resposta ao ambiente; pró-atividade – capacidade de exibir comportamento direcionado a objetivos, tomando a iniciativa para satisfazer seus objetivos de projeto.

Existem sistemas onde um único agente é suficiente para a realização de algumas tarefas, mas na maioria das vezes são necessários mais de um agente, dessa forma caracterizando um sistema Multiagentes (SMA). Um SMA pode ser definido como (WOOLDRIDGE, 2002): um conjunto de agentes, que interagem uns com os outros. No caso mais geral, os agentes vão agir em favor de usuários com diferentes

objetivos e motivações. Para terem sucesso nas interações, eles vão requerer habilidades de cooperação, coordenação e negociação.

A abordagem multiagente é uma nova solução para o desenvolvimento de sistemas complexos (JENNINGS, 2001), estendendo as abordagens convencionais e fornecendo a abstração necessária para o desenvolvimento de sistemas: heterogêneos – formados por diversas entidades; dinâmicos – capazes de se adaptar a variações nas condições do ambiente em que estão situados; abertos – componentes podem entrar ou deixar o sistema em tempo de execução; distribuído – não possui necessariamente um controle centralizado, formados por entidades autônomas (agentes) que são capazes de se organizar, negociar e cooperar para alcançar os objetivos do sistema.

### 3. Sistemas de produção

Sistemas de produção consistem de um ambiente formado por um conjunto de máquinas e equipamentos de diferentes tipos agrupados para a produção de bens a partir do processamento de matéria-prima (CHRYSSOLOURIS, 2006). Geralmente, cada um dos equipamentos nesse ambiente (também chamado de chão de fábrica) desempenha diferentes tarefas, onde cada uma dessas operações agrega certo valor a matéria-prima que ao final de uma sequência de operações se transforma em um produto acabado pronto para ser comercializados ou usado para a fabricação de outros produtos. Há também a necessidade de mão de obra para gerenciar os diversos processos envolvidos na cadeia de produção, responsáveis pela operação e o controle dos equipamentos, que demanda profissionais qualificados, com conhecimento técnico e especializado.

Os sistemas de produção são classificados em dois grandes grupos: sistemas de processos contínuos e sistemas de processos discretos. Os sistemas que tratam processos contínuos envolvem a produção de bens que não podem ser identificados individualmente, exemplos de sistemas de produção contínuos são processos das in-

dústrias de produtos químicos, petróleo e derivados, energia elétrica. Já nos que lidam com processos discretos esses bens podem ser isolados, em lotes ou unidades o que permite a distinção entre eles, exemplos de sistemas de produção discretos são processos das indústrias de automóveis, eletrodomésticos, e produtos cerâmicos.

A internacionalização do mercado e da economia mundial nos últimos anos trouxe também um grande aumento na competitividade entre as empresas. Para se adaptar as novas necessidades do mercado, as indústrias vêm adotando novas estratégias para melhorar o desempenho da produção. Nesse sentido as indústrias tem buscado novos meios para otimizar a utilização dos recursos, maximizar a qualidade enquanto minimiza os custos e o tempo de produção. Nesse cenário, a automação da produção tem um papel fundamental nessa busca por melhor qualidade e redução dos custos.

Os avanços tecnológicos ocorrido nos últimos anos, principalmente em relação a máquinas, sensores e equipamentos, contribuiu para a diminuição dos custos desses componentes, consequentemente aumentando sua utilização na indústria. Nesse contexto, o aumento do uso de instrumentos de medição responsáveis pelo monitoramento das condições dos componentes e das operações, ocasionou o aumento da quantidade de informações geradas pelos equipamentos e processos. Muitas dessas informações ainda não são devidamente aproveitadas principalmente porque as diferentes máquinas e equipamentos utilizam protocolos e tecnologias específicas o que dificulta a comunicação entre esses sistemas.

Algumas das principais características identificadas nos ambientes de produção são:

- Variedade de equipamentos – geralmente são constituídos por um grande número de componentes que podem ser tanto hardware (ex. sensores) como software (ex. sistemas de aquisição de dados);
- Natureza distribuída – os diversos componentes que formam o siste-

ma como: máquinas, equipamentos, sensores, controladores, etc.; se encontram distribuídos ao longo da planta de produção;

- Sistemas heterogêneos – grande parte dos equipamentos, sensores e outros sistemas utilizam interfaces proprietárias o que pode dificultar a integração desses componentes;
- Flexibilidade de produção – habilidade do sistema de mudar para produzir novos produtos, a ordem de operações executadas, usar múltiplas máquinas para a mesma operação, e também absorver mudanças em relação ao volume de produção;
- Grande quantidade de informação – proveniente principalmente de sensores instalados nos equipamentos.

Nesse sentido já existem alguns sistemas e ferramentas computacionais voltados para integrar e monitorar as informações dos diversos equipamentos. Esses sistemas de supervisão e controle, desenvolvidos especialmente com o objetivo de gerenciar e automatizar os processos de produção e assim garantir o funcionamento correto dos equipamentos e a segurança das operações.

Analisando esse cenário, o grande desafio no desenvolvimento de sistemas de supervisão e controle industrial é a integração dos diversos componentes, sistemas e subsistemas. Desta forma, fazer com que haja comunicação entre todos eles, já que os mesmos muitas vezes são baseados em plataformas, interfaces e utilizam tecnologias diferentes. Tendo como o objetivo principal a coleta e integração das informações produzidas no chão de fábrica para que possam ser armazenadas e analisadas, e assim melhor aproveitadas pelos operadores e engenheiros.

Ferramentas para a automação das tarefas de análise das informações são essenciais para a indústria. Os resultados, obtidos com a análise das informações, podem ser utilizados para diversas finalidades, como por exemplo, previsão dos tempos de produção, identificação da variação de desempenho dos equipamentos indicando problemas de mau funcionamento e de-

gradação, identificação de anormalidades nos processos que também podem afetar a quantidade e qualidade do produto final. E também através da análise de informações em tempo real, provenientes de sensores, prever a ocorrência de possíveis falhas. Nesse sentido, o monitoramento em tempo real dessas informações também tem um papel fundamental para garantir a segurança e o bom funcionamento das operações.

Considerando todos esses aspectos, o desenvolvimento de sistemas de supervisão e controle mais inteligentes, capazes de gerenciar e processar todas as informações dos processos, tornam-se cada vez mais necessários para a indústria. Dessa forma, melhorando significativamente a produção, fornecendo um maior entendimento do negócio e do ambiente, e com isso possibilitando analisar, monitorar e controlar as operações de forma mais segura.

#### **4. Sistema multiagente de supervisão e controle**

A tecnologia de agentes vem sendo utilizada para uma variedade de aplicações no setor industrial tais como: sistemas para automação de controle, supervisão e diagnóstico, planejamento da produção, gerenciamento de riscos, logística e gerenciamento de recursos, simulação, entre outras (PECHOUČEK e MARÍK, 2008). A abordagem multiagente tem sido adotada por fornecer as abstrações e ferramentas adequadas para o desenvolvimento de sistemas complexos que apresentam características como as encontradas nos ambientes de produção.

Com a utilização da tecnologia de agentes, cada um dos componentes envolvidos são transformados em componentes autônomos e independentes, capazes de se coordenar e cooperar para a realização das tarefas. Dessa forma facilitando também a integração entre os componentes heterogêneos, sendo que nesta infraestrutura os agentes trocam recursos e serviços através da utilização de uma linguagem de comunicação de agentes (ACL – *Agent Communication Language*).

Também devido ao comportamen-

to autônomo dos agentes, podem ser atingidos maiores níveis de flexibilidade para sistemas de produção dinâmicos. Facilitando as mudanças tanto na reorganização das operações, como entrada de novos equipamentos ou saída de componentes do sistema que também podem ser causadas pela falha dos mesmos. Além de possibilitar a continuidade operacional de uma determinada parte local da produção, caso haja problemas em outras partes da produção por falhas de equipamentos que não podem ser substituídos entre outros problemas. A adoção de sistemas baseados em agentes com essas características eliminam ou pelo menos diminuem o trabalho manual de reconfiguração e restauração do sistema, que é uma tarefa complexa e que necessita de conhecimentos especializados para ser realizado pelos operadores e responsáveis pelos mesmos, caso o sistema seja executado em um ambiente aberto e sujeito a falhas ou mudanças que não foram previstas.

Nesse sentido, várias arquiteturas têm sido definidas utilizando as abordagens multiagentes para a solução de uma variedade de problemas que vão desde a integração de componentes e sistemas heterogêneos, bases de informações distribuídas (CAPRETZ e HRYB, 2005; PURVIS, CRANFIELD e NOWOSTAWSKI, 2000), até sistemas mais complexos para monitorar ambientes e processos a fim de prever e identificar a ocorrência de anormalidades (BUNCH, *et al.*, 2005; CERRADA, *et al.*, 2007; NG e SRINIVASAN, 2010). As arquiteturas multiagentes apresentadas nesses trabalhos foram analisadas a fim de identificar os principais aspectos desses SMAs, que inclui a forma como os agentes são empregados, quais os papéis e funções desses agentes e como eles interagem para a execução de suas tarefas, e também a organização arquitetural desses sistemas. A análise realizada foi utilizada como referência para auxiliar na especificação e desenvolvimento da arquitetura multiagentes proposta, que é apresentada na seção seguinte.

## 5. Arquitetura multiagente para supervisão e controle

Na análise dos SMAs utilizados como referência foi possível observar que esses sistemas apresentam várias características em comum, mas também possuem características que são específicas do domínio da aplicação para a qual foram propostos. Entre as características em comum, em muitas das abordagens foram identificados agentes que desempenham as mesmas funções dentro do sistema, embora apareçam com nomes diferentes.

Para a definição dos agentes que compõem a arquitetura multiagente proposta foi realizada uma análise de cada um dos agentes utilizados por essas abordagens, seus papéis e organização dentro do sistema. Com isso, foi identificado um conjunto de agentes necessários para desempenhar as tarefas de gerenciamento, supervisão e controle de processos. Onde as funções e capacidades dos agentes, assim como seus relacionamentos foram determinados.

A seguir, é apresentada a organização arquitetural do SMA (Figura 1) em termos de seus componentes e alguns de seus relacionamentos, essa arquitetura está dividida em três componentes principais:

- *Interface do usuário* – composto pelas interfaces gráficas responsáveis por apresentar as funcionalidades e recursos do sistema para os usuários, através das quais o usuário pode supervisionar e controlar os diversos processos envolvidos;
- *Sistema Multiagente* – formado por um conjunto de agentes responsáveis por automatizar as tarefas de supervisão e controle, como integração monitoramento, e análise dos dados e processos, a fim de identificar situações indesejadas emitindo alarmes e notificações para que as medidas necessárias possam ser tomadas.

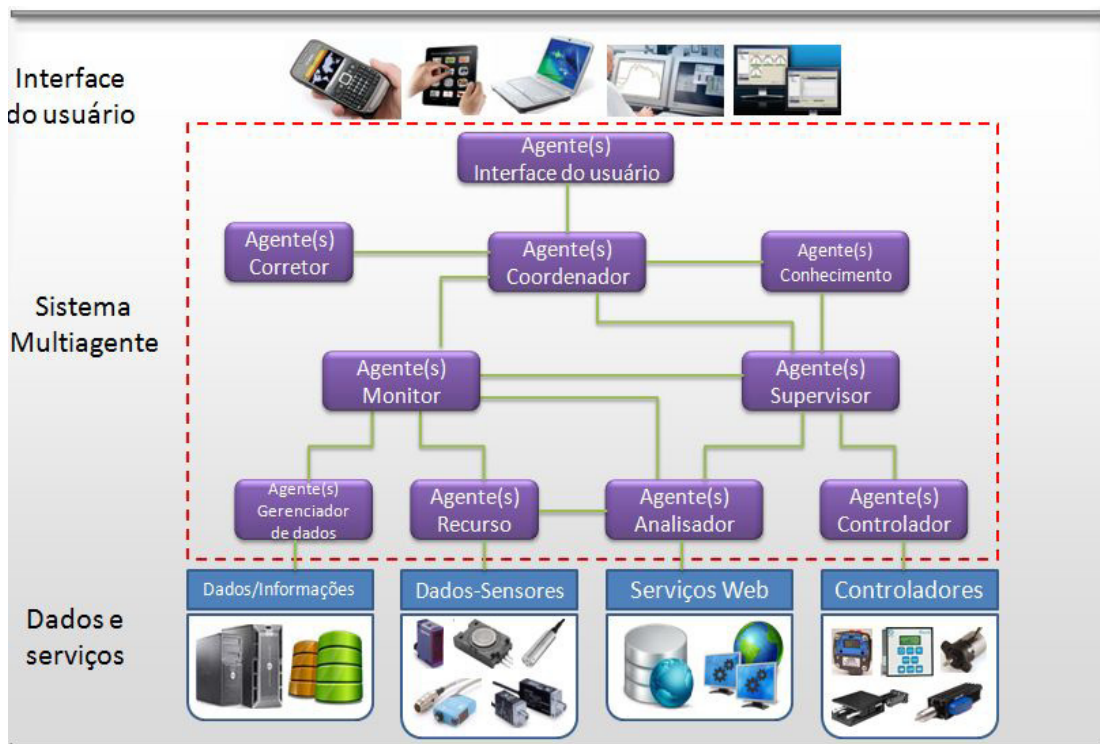


Figura 1: Organização arquitetural do Sistema Multiagente.

- *Dados e serviços* – representa as entidades físicas que compõem os ambientes industriais, como: sensores, controladores e outros dispositivos, bases de dados do sistema e fontes de informação, métodos usados para a análise dos dados a fim de identificar e prever a ocorrência de anormalidades, e também outros sistemas, os quais podem estar disponíveis através de interfaces de serviços.

No componente Sistema Multiagente (Figura 1) estão representados os tipos de agentes que podem fazer parte do sistema, onde cada um representa um ou mais agentes responsáveis por desempenhar tarefas específicas de acordo com suas especialidades. Por exemplo, em um sistema pode haver vários agentes Recurso, onde cada um possui acesso a uma fonte de informação que pode ser utilizada pelo sistema. A seguir são descritos os tipos de agentes que compõem o SMA e suas capacidades (Figura 1):

- *Interface do usuário* – representam um conjunto de agentes responsáveis por realizar a comunicação entre o SMA e os usuários, apresentando as funcionalidades do sistema através de interfaces gráficas e também pelo gerenciamento das requisições e preferências, baseado nas características dos dispositivos e no perfil de cada usuário. Para cada usuário que entra no sistema um novo agente é inicializado com o perfil desse usuário, o qual fica responsável por gerenciar a comunicação entre esse usuário e o SMA;
- *Gerenciador de dados* – representam um conjunto de agentes responsáveis pelo gerenciamento dos dados do sistema. Esses agentes implementam interfaces que permitem basicamente a recuperação e o registro das informações geradas pelo sistema, como: as condições dos processos (medidas ou calculadas), os logs dos eventos, entre outras;
- *Recurso* – um conjunto de agentes

responsáveis por fornecer acesso aos recursos externos, como os dados dos sensores e outros equipamentos. Esses agentes implementam as interfaces de acesso a esses componentes. No sistema pode haver um agente desse tipo para cada recurso externo a ser utilizado pelo sistema, assim é possível que novos recursos sejam inseridos ou removidos do sistema sem afetar o resto da aplicação;

- *Analizador* – representam um conjunto de agentes responsáveis pelo processamento e análise dos dados usados para a identificação de possíveis anormalidades durante as operações. Esses agentes implementam interfaces que permite a utilização de métodos inteligentes para identificar ou prever a ocorrência desses eventos. Os eventos gerados devem ser notificados, por exemplo, através de alarmes ou alertas, para os usuários ou outros agentes (como os supervisores) para que sejam devidamente tratados;

- *Controlador* – representam um conjunto de agentes que dão acesso aos dispositivos como controladores e atuadores. Esses agentes devem implementar as interfaces desses dispositivos para permitir a execução das operações de controle. Essas operações são passadas pelos agentes Supervisores e representam ações de controle e planos corretivos a serem executados para reestabilizar ou restaurar os processos;

- *Monitor* – um conjunto de agentes responsáveis pelo monitoramento dos diversos parâmetros, variáveis e condições dos processos e operações. Podem existir um conjunto desses agentes no sistema, onde cada um seria responsável pelo monitoramento de determinados processos. Esses agentes também podem lançar alarmes em caso de situações indesejáveis, notificando os agentes Supervisores para que as medidas necessárias sejam

tomadas para restaurar o funcionamento dos processos;

- *Corretor* – um agente responsável por manter um registro de todos os agentes presentes no sistema e os serviços prestados por eles. Quando um novo agente entra no sistema ele deve registrar seus serviços junto a um agente Corretor. Assim os agentes do sistema podem consultar um agente Corretor para dinamicamente encontrar quais agentes prestam os serviços necessários para a execução de suas tarefas;

- *Conhecimento* – um agente responsável por manter uma base de conhecimento com regras e diretrizes necessárias nas tomadas de decisões e que determinam o comportamento global do sistema;

- *Supervisor* – agentes responsáveis pela supervisão dos processos e tratamento das situações indesejadas. Esses agentes, a partir das notificações de eventos geradas pelos agentes Monitor e Analisador e das diretrizes de funcionamento dos processos obtido dos agentes de Conhecimento, realizam o planejamento e geram os planos corretivos e ações para o gerenciamento e controle dos processos.

- *Coordenador* – agentes responsáveis pela coordenação dos agentes para alcançarem os objetivos comuns do sistema. Esses agentes, a partir das requisições dos usuários, gerenciam os outros agentes na execução de suas tarefas para automatizar as atividades de monitoramento e análise dos processos. Eles também podem consolidar os resultados de eventos gerados por diferentes agentes Analisadores para obter informações mais confiáveis. Em algumas das abordagens estudadas algumas das funcionalidades do agente Coordenador também são assumidas pelo agente Supervisor;

## 6. Aplicação da arquitetura proposta

Utilizando a arquitetura proposta foi implementado um protótipo de um sistema Web para automatizar o processo de análise e integração de dados. O objetivo do sistema é supervisionar e analisar o grande volume de dados produzidos na perfuração de poços de petróleo a fim de facilitar a identificação da ocorrência de anormalidades durante o processo de perfuração.

Muitas atividades da perfuração de poços de petróleo são complexas e dispendiosas, envolvendo vários profissionais especializados que precisam monitorar continuamente os vários parâmetros de sensores e equipamentos para identificar e diagnosticar falhas ou comportamentos indesejados. Uma das anormalidades que pode ocorrer durante a perfuração de poços de petróleo é o *Packer Hidráulico* (TAVARES, 2006). O

protótipo desenvolvido visa o monitoramento da perfuração de poços de petróleo para a identificação do *Packer Hidráulico*.

Nesse protótipo foram implementados os três componentes da arquitetura: Interface do usuário, Sistema Multiagente e Dados e serviços. No componente de Interface do usuário foram implementadas algumas interfaces Web em XHTML com o auxílio do *framework* JSF (JavaServer Faces). Essas interfaces, que podem ser visualizadas através de qualquer navegador, apresentam os dados da perfuração e os resultados dos processos de análise para os usuários. Na interface do protótipo implementado (Figura 2) é apresentado os gráficos com quatro parâmetros monitorados e os resultados da análise (alertas sobre as condições de operação) realizada para a identificação da anormalidade *Packer Hidráulico*.

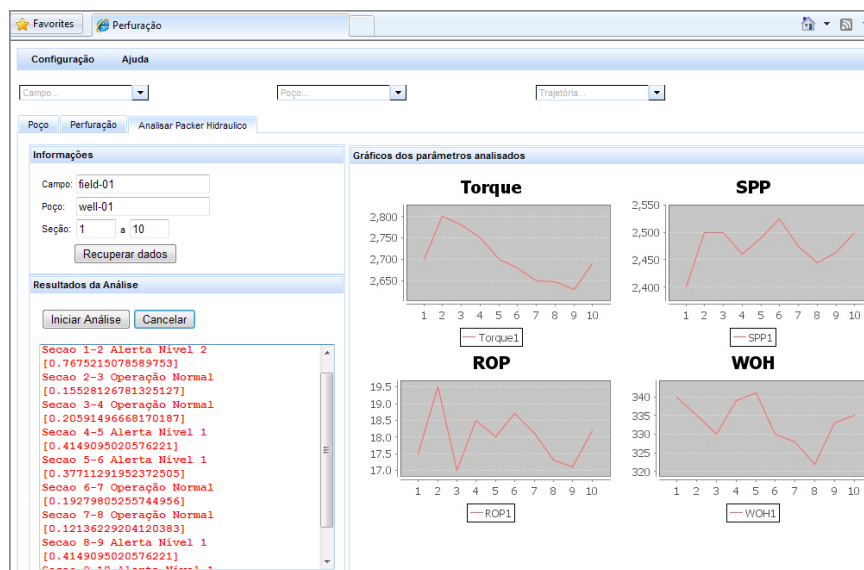


Figura 2: Interface do protótipo para análise de anormalidades dos dados de perfuração.

No componente de Dados e serviços foram implementados dois serviços Web que permitem aos agentes o acesso aos dados e ao método utilizado para a análise da anormalidade. Os dados utilizados representam um conjunto de dados da perfuração coletados de sensores que são utilizados na análise, e também um outro

conjunto de dados, de poços já perfurados, onde especialistas classificaram a ocorrência da anormalidade *Packer Hidráulico*. Os dados utilizados para a análise e identificação dessa anormalidade são do trabalho de (TAVARES, 2006) e representam um conjunto de parâmetros de perfuração, como: Torque, SPP (pressão no *Stand Pipe*), ROP

(taxa de penetração) e WOH (carga no gancho). Esses dados, disponíveis em um banco de dados, podem ser acessados através do serviço Web implementado.

Ainda no componente de Dados e serviços foi implementado um método inteligente utilizado para a identificação da anormalidade. Esse método consiste de uma Rede Neural Artificial (RNA) *Multi-Layer Perceptron* (HAYKIN, 1998) que foi implementada utilizando o *framework* Joone (JOONE, 2012). A RNA foi definida com quatro neurônios na camada de entrada correspondentes aos quatro parâmetros de perfuração monitorados (Torque, SPP, ROP, WOH), duas camadas ocultas com quatro neurônios e uma camada de saída com um neurônio, que indica a ocorrência dessa anormalidade. A RNA foi treinada para o reconhecimento da anormalidade *Packer Hidráulico*, utilizando um conjunto de dados previamente classificados por especialistas. Posteriormente esse método foi encapsulado como um serviço Web para ser utilizado pelo agente Analisador, para diagnosticar o *status* da operação, acusando diferentes níveis de alerta relacionados a ocorrência da anormalidade.

No componente Sistema Multiagente foram desenvolvidos e implementados alguns agentes com a utilização da plataforma Jadex (JADEX, 2012). Os agentes implementados foram: Interface do usuário, Coordenador, Recurso, Analisador e Corretor. O agente Interface do usuário gerencia as interfaces gráficas apresentadas aos usuários. O agente Coordenador trata as requisições e coordena os outros agentes na execução das tarefas. O agente Recurso faz a aquisição dos parâmetros de perfuração através do serviço Web implementado no componente de Dados e serviços. O agente Analisador utiliza os dados fornecidos pelo agente Recurso para a análise

da anormalidade. Para o agente Corretor foi utilizado um agente da plataforma Jadex que oferece os serviços de registro, esse agente é chamado de *Directory Facilitator* (DF).

Na Figura 3 é apresentado o diagrama de sequência do processo de análise, este diagrama exemplifica como é o relacionamento e a comunicação entre os agentes do sistema para realizar a tarefa de análise da anormalidade *Packer Hidráulico*. Nesse cenário o usuário faz uma requisição de análise através de uma interface Web, essa requisição é interpretada pelo agente Interface Usuário que faz uma requisição para o agente Coordenador tratá-la. O agente Coordenador analisa a requisição e então faz uma busca, solicitando ao agente DF (Corretor), por agentes que desempenham as atividades necessárias para a execução da análise da anormalidade. O agente DF fornece uma lista com os agentes que prestam os serviços relacionados à análise requisitada, que nesse caso são os agentes do tipo Analisador que realiza a análise da anormalidade *Packer Hidráulico* e também os agentes Recurso que fornecem os dados utilizados para esta análise. Conhecendo os agentes necessários, o Coordenador requisita a análise para um agente Analisador que foi encontrado na busca. Em seguida o Analisador solicita ao agente Recurso os dados necessários para o processo de análise. Posteriormente, com esses dados o agente Analisador invoca o serviço Web para a análise do *Packer Hidráulico* (PHWS), implementado no componente de Dados e serviços. Os resultados da análise são informados para o Coordenador, que se necessário pode processar essas informações, gerando o resultado final que é repassado ao agente Interface Usuário, e este apresenta ao usuário os resultados atualizando as interfaces Web.

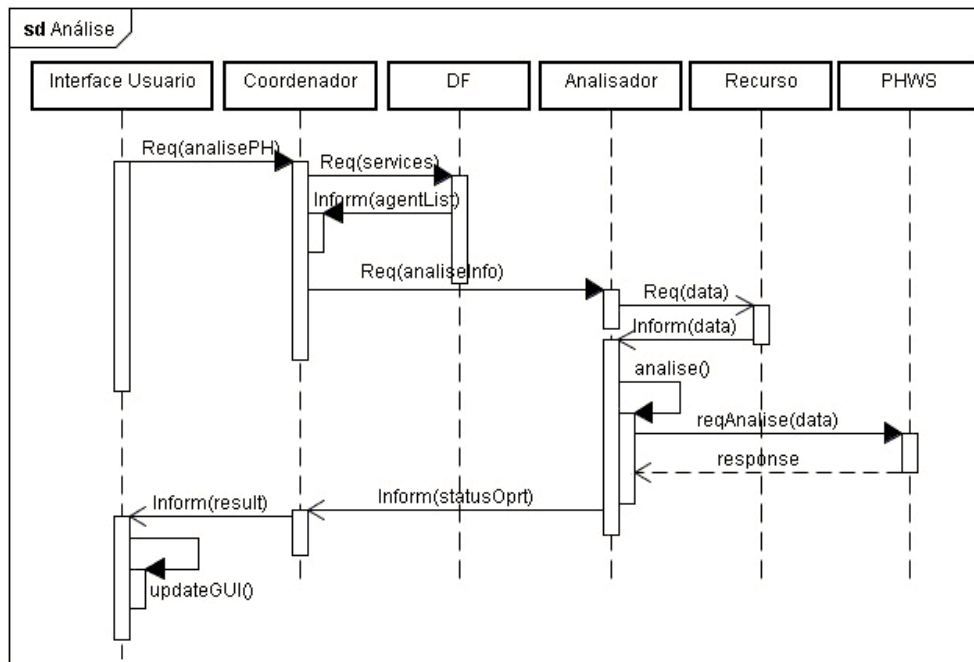


Figura 3: Diagrama de sequência do processo de análise.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

No desenvolvimento desse trabalho foi possível verificar que a abordagem multiagente está sendo utilizada para o desenvolvimento de sistemas computacionais complexos em vários domínios. No setor industrial, esses sistemas são usados para gerenciar grandes quantidades de informações, controlar processos, auxiliar profissionais em situações de tomada de decisões, automatizar atividades, entre outras tarefas, a fim de garantir a segurança e o funcionamento das operações e também automatizar algumas tarefas que são consideradas repetitivas ou cansativas para os seres humanos. Esses SMAs apresentam uma forma de controle descentralizado onde os agentes podem ser executados em plataformas distribuídas e com um grau de autonomia, são adaptativos e abertos sendo capazes de se adaptar a novas situações e permitem que componentes entrem ou saiam do sistema dinamicamente.

Assim, a utilização de uma arquitetura multiagente fornece uma infraestrutura mais apropriada para lidar com a complexidade dos ambientes industriais. Possibilitando o desenvolvimento de sistemas de

supervisão e controle mais inteligentes, onde pode ser feita a análise, monitoramento e controle das etapas produtivas de forma mais eficaz. Nesse contexto, a arquitetura apresentada define um conjunto de agentes, seus comportamentos e organização que atendam aos requisitos de sistemas de supervisão e controle de processos. Desta forma, essa arquitetura pode ser utilizada como base para o desenvolvimento de sistemas de supervisão e controle de processos em vários domínios.

Um protótipo foi implementado utilizando a arquitetura proposta. Para o teste do protótipo foi desenvolvido um sistema Web multiagente para a supervisão dos processos de perfuração de poços de petróleo. Alguns agentes necessários foram implementados e também uma RNA como método para análise da anormalidade *Packer Hidráulico*.

Como trabalhos futuros para o aperfeiçoamento da arquitetura proposta será feito um estudo visando a definição de mecanismos e diretrizes que sirvam para guiar o comportamento do sistema multiagente nas operações de supervisão e controle. Dessa forma o sistema será capaz de se reconfigurar automaticamente para se adaptar as variações do ambiente como a

saída ou entrada de novos agentes, assim como se recuperar de falhas. Também serão definidos mecanismos para o SMA continuamente avaliar suas operações e com isso identificar oportunidades para se tornar mais eficiente, otimizando a performance. Posteriormente o protótipo do sistema Web desenvolvido será evoluído para contemplar os mecanismos definidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAZIER, F. M. T. et al. **Agents and service-oriented computing for autonomic computing**: A research agenda. *Internet Computing, IEEE*, v. 13, n. 3, p. 82–87, 2009.

BUNCH, L. et al. **KARMEN - Multi-agent monitoring and Notification for Complex Processes**. In LNAI No. 3593. Heidelberg: Springer Verlag. 2005. p. 197–206.

CAPRETZ, M. A. M.; HRYB, M. C. **Software integration using a dynamic wrapper agent**. WSEAS Conferences. 2005. p. 1-6.

CERRADA, M. et al. **Agents-based design for fault management systems in industrial processes**. *Computers in Industry*, 58, n. 4, 2007. 313-328.

CHRYSSOLOURIS, G. **Manufacturing Systems: Theory and Practice** (Mechanical Engineering Series). 2nd. ed. New York: Springer, 2006. 602 p.

HAYKIN, S. **Neural Networks: A Comprehensive Foundations**. Second Edition. 1998.

JADEx. **BDI Agent System - Jadex Software Projects**, 2012 Disponível em: <<http://jadex.informatik.uni-hamburg.de/>>. Acesso em: 27 Julho 2012.

uni-hamburg.de/>. Acesso em: 27 Julho 2012.

JENNINGS, N. R. **On agent-based software engineering**. *Artificial intelligence*, v. 117, n. 2, p. 277–296, 2000.

JENNINGS, N. R. **An agent-based approach for building complex software systems**. *Communications of the ACM*, 44, n. 4, 2001. 35-41.

JOONE. **Java Object Oriented Neural Engine**, 2012 Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/joone/>>. Acesso em: 2 Setembro 2012

NG, Y. S.; SRINIVASAN, R. **Multi-agent based collaborative fault detection and identification in chemical processes**. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, n. 6, 2010. 934-949.

PECHOUČEK, M.; MARÍK, V. **Industrial deployment of multi-agent technologies: review and selected case studies**. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 17, n. 3, 2008. 397–431.

PURVIS, M.; CRANFIELD, S.; NOWOSTAWSKI, M. **A distributed architecture for environmental information systems**. In *Environmental Software Systems-Environmental Information and Decision Support*. 2000. p. 49-56.

TAVARES, R. M. **Interpretação e Análise de Dados de Perfuração em Poços de Petróleo**. Dissertação de Mestrado (Universidade Estadual de Campinas). 2006.

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent Systems**. John Wiley & Sons, 2002.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. **Intelligent Agents: Theory and Practice**. *The Knowledge Engineering Review*, v. 10, n. 2, p. 115-152, 1995.

**Jonas Felipe Pereira de Queiroz** é graduado em Ciências da Computação (2007) pela UNESP – Rio Claro. E mestrando em Ciências da Computação pela UNESP no Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação (PPGCC). Realiza pesquisas na área de Sistemas Multiagentes.

**Ivan Rizzo Guilherme** é formado em Ciências da Computação pela Universidade Federal de São Carlos (UFScar) em 1985, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade de Campinas (UNICAMP) em 1990 e 1996 respectivamente. Atualmente professor assistente e doutor na Universidade Estadual Paulista (UNESP – Rio Claro).