

CORRELAÇÃO SEMÂNTICA DE ALARMES UTILIZANDO ONTOLOGIA

RAPHAELA G. F. LIMA¹, GUSTAVO LEITÃO¹, LUIZ AFFONSO GUEDES¹, JORGE MELO¹, ADRIÃO DUARTE¹

1. *Departamento de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Caixa Postal 1524 . CEP 59078-970 - Natal RN*

*E-mails: raphaela@dca.ufrn.br, gustavo@dca.ufrn.br, affonso@dca.ufrn.br,
jdmelo@dca.ufrn.br, adriao@dca.ufrn.br*

Abstract— This work presents a proposal of semantic correlation, aiming to make inferences about the correlation of alarms in industrial processes. In this way, the knowledge about the industrial processes was structured using an ontology, aiming to allow better modeling of industrial process operation, such as alarm management and fault diagnostics. In order to validate the proposal, we used real data alarms arising from treatment diethanolamine (DEA) industrial plant, which is a very important process in petrochemical process industry.

Keywords— automation expert systems, alarm correlation, ontology, OWL, industrial automation.

Resumo— Neste trabalho uma proposta para correlação semântica é apresentada, objetivando realizar inferências sobre correlação de alarmes em processos industriais. Para isso, estruturou-se o conhecimento sobre processos industriais através do desenvolvimento de uma ontologia, de modo a permitir uma melhor modelagem das funcionalidades avançadas associadas com a operação de processos industriais, tais como gerência de alarmes e diagnóstico de anomalias. Para validar a proposta, utilizou-se dados reais de alarmes advindos de planta de unidade de tratamento de dietanolamina (DEA), que é um processo bastante importante na indústria de processo petroquímicos.

Palavras-chave— sistemas especialistas para automação, correlação de alarmes, ontologia, OWL, automação industrial.

1 Introdução

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) que são formados por computadores, aplicativos e dispositivos utilizados para aquisição de dados e atuação sobre processos industriais, realizam funções que incluem a supervisão e configuração da operação *online* de processos industriais de forma remota. Um dos seus módulos é o sistema de alarmes, com a função de receber, processar e apresentar os alarmes e eventos ocorridos no processo industrial.

Antes da adoção dos sistemas SCADA, o sistema de alarmes era formado por painéis físicos luminosos, onde os alarmes eram representados por lâmpadas destes painéis. Existia um número reduzido de espaço físico e assim os alarmes monitorados eram escolhidos de forma bem criteriosa. Com a adoção de sistemas SCADA, tornou-se mais factível o monitoramento *online* de centenas de alarmes, eventos e variáveis de processo. A quantidade de informação disponível tornou-se tão demasiada que atrapalhou a tomada de decisão por parte dos operadores de processos industriais. Em algumas situações, como apresentado em Habib e Hollifield (2008), a *interface* do sistema de alarmes exibe uma quantidade tão elevada de alarmes que torna a sua operação não gerenciável.

Vários estudos estão sendo realizados para otimizar a carga de alarmes e eventos apresentados à operação. Alguns estudos elaboraram guias de boas práticas onde estabelecem limites para o número ge-

renciável de sinalizações de alarmes por operador, bem como definem estratégias de priorização em caso de avalanches de alarmes (EEMUA, 1999). Assim, técnicas como priorização, supressão e agrupamento de alarmes devem ser utilizadas pelos sistemas de alarmes (Pinto e Paula, 2009).

Portanto, o problema não está na quantidade de informação, mas sim em sua qualidade. Ou ainda, a grande quantidade de dados disponível não é traduzida necessariamente em informação de boa qualidade, dificultando os procedimentos de diagnóstico e localização de possíveis falhas por parte da equipe responsável pela operação dos processos industriais.

Em muitas situações, a baixa qualidade dos dados apresentados se deve ao fato dos sistemas SCADA não possuírem o conhecimento estruturado sobre a planta industrial monitorada, como por exemplo: informações de quais equipamentos, dutos, instrumentos e alarmes compõem a planta; como eles estão relacionados entre si; qual o sentido que o fluido e energia seguem na planta; qual a sequência da disposição física dos equipamentos e dutos e quais alarmes estão conectados a quais instrumentos, etc.

Desse modo, a utilização de conhecimento sobre o processo monitorado em uma forma estruturada pode contribuir bastante para melhorias da informação disponível à operação de processos industriais. Assim, visando contribuir para melhoria dos procedimentos de operação de processos, o presente trabalho propõe uma ontologia de domínio para estruturar o conhecimento de processos industriais. Uma das principais vantagens dessa abordagem é que ela per-

mite representar domínios de conhecimento através de uma linguagem formal, possibilitando que inferências sejam realizadas de forma bastante natural sobre o conteúdo que ela representa.

O restante do trabalho está dividido da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma visão geral sobre ontologias e alguns trabalhos relacionados na área de automação industrial; a seção 3 apresenta o desenvolvimento da ontologia aplicada à automação industrial; na seção 4 a sua validação aplicada a uma planta industrial DEA; na seção 5 são apresentados os resultados de correlação semântica de alarmes sobre a planta DEA; e na seção 6 são apresentadas as conclusões e indicação de trabalhos futuros.

2 Ontologias e Trabalhos Relacionados

Neste trabalho definimos uma ontologia como sendo uma especificação de uma conceituação, isto é, uma descrição de conceitos e relações que existem em um domínio de interesse (Sowa, 1999). Assim, uma ontologia estabelece um vocabulário comum sobre um dado domínio de conhecimento para uma comunidade que se interesse pelo mesmo.

Para se desenvolver uma ontologia é necessário definir um conjunto de elementos que podem ser divididos em: classe, propriedade e restrição (Noy and McGuinness, 2001). Além disso, ela pode ser escrita em uma linguagem formal, fornecendo uma descrição precisa do conhecimento. O padrão mais recente de linguagens para ontologias é o OWL (*Ontology Web Language*) (Knublauch, 2004), desenvolvido no âmbito do *W3C-World Wide Web Consortium*, que estende a RDF e foi criada para descrever classes e as relações existentes entre elas, além de possibilitar que essas classes sejam reutilizadas, ou herdadas.

Laallam and Sellami (2007) apresentam um sistema baseado em ontologia para auxiliar a tomada de decisão em processos que compõem uma estação de compressão de gás. A ideia é que os especialistas que realizam a atividade de supervisão e controle tenham uma forma mais eficiente de compartilhar conhecimento. A ontologia desenvolvida restringiu-se a representar o conhecimento da turbina a gás, não apresentando uma generalização para os demais componentes.

As ontologias também vêm sendo aplicadas à engenharia de processos químicos, como por exemplo o projeto OntoCAPE (Morbach, et al., 2007)(Morbach, et al., 2009), que consiste de um conjunto de modelos parcial interconectados hierarquicamente organizados através de vários níveis de abstração. Entretanto, essa ontologia é bem genérica, o que torna o seu uso demasiadamente complexo.

Natarajan, et al. (2012) desenvolveram uma ontologia chamada de OntoSafe, que é uma extensão da OntoCape aplicada a processos de supervisão, para fornecer um gerenciamento semântico de situações anormais, permitindo, assim, a integração de todas as

informações necessárias para formar um julgamento coeso sobre a condição de estado do processo.

Na área de gerenciamento de alarmes, o trabalho descrito em Quintão (2008) desenvolveu um modelo de um Sistema Informatizado de Gerenciamento de Alarmes baseado em Recomendações de Ações (SIGARA), que realiza a filtragem de anomalias críticas, e a apresenta aos operadores do processo apenas as que são relevantes e necessitam tomar uma ação, e também a recomendação personalizada dessas ações em caso de falhas do sistema. Para isso foi utilizada uma ontologia denominada de ONTORMA (Lindoso, 2006), conforme a metodologia MAAEM (*Multi-Agent Application Engineering Methodology*). Nesse trabalho, a ontologia não foi utilizada para a representação conceitual das plantas industriais, ao invés disto utilizou-se um repositório para o armazenamento dos produtos da engenharia de domínio e de aplicações multi-agente.

Ainda na área de gerenciamento de alarmes, Aizpurúa, et al. (2008) desenvolveram um trabalho com o objetivo de melhorar a análise dos alarmes por parte do operador, onde a ontologia foi utilizada para criar uma representação padronizada do domínio envolvido. A ontologia foi baseada no fato que para sistemas de energia submetidos a situações reais, o conhecimento envolvido na ontologia é muito complexo, sendo necessário ser dividido em várias: ontologia de fluxo, ontologia de lógica de controle, ontologia de eventos, ontologia de alarmes, ontologia de sequência de *trip* (Bernaras, et al., 1996).

3 Ontologia para Automação Industrial

A ontologia desenvolvida aqui foi concebida com o objetivo de modelar o domínio de plantas de processos industriais, de modo a dar suporte a aplicações de automação industrial, como detecção de falhas, diagnóstico de anomalias, e monitoramento inteligente de processos. Deu-se especial atenção à caracterização dos componentes que compõem as plantas industriais e dos fluxos de energias que atravessam esses processos. Inicialmente, foram definidos os conceitos abaixo, conforme melhor ilustrado na Figura 1:

- **Equipment:** elemento que faz alguma transformação física ou química nos fluidos que circulam pela planta.
- **Pipe:** conduto fechado destinado ao transporte de fluidos.
- **Instrument:** elemento de automação e instrumentação que pode estar conectados a equipamentos da planta.
- **Alarm:** sinalização visual e/ou sonora que identificam a ocorrência de um problema que deve ser percebido com rapidez.
- **Accessory:** representa qualquer outro componente que não seja um equipamento, uma tubulação, um instrumento ou um alarme.

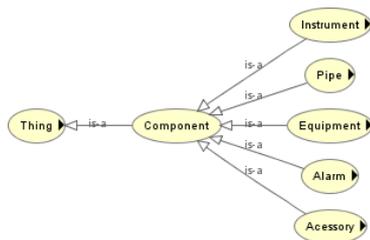


Figura 1. Exemplo de classes da ontologia.

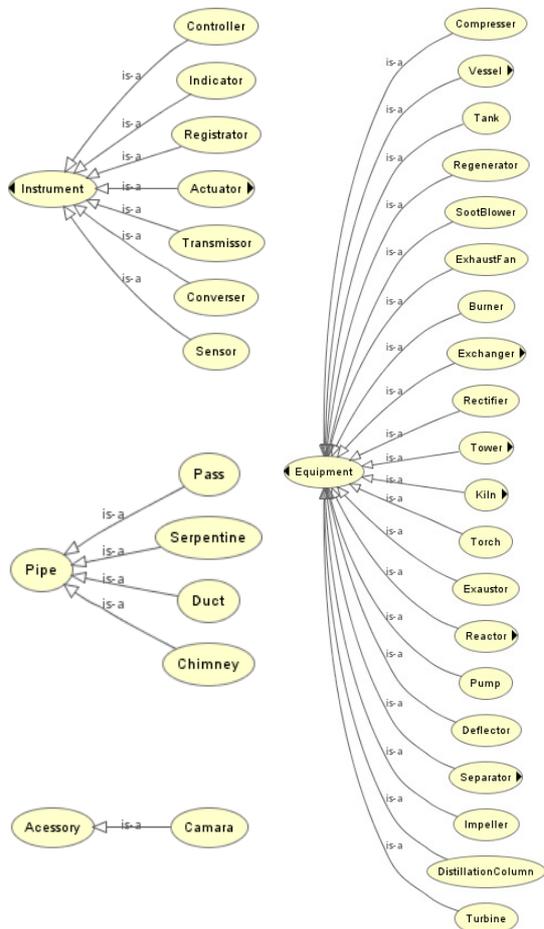


Figura 2. Subclasses das classes “Instrument”, “Equipment”, “Pipe” e “Accessory”.

Na seqüência, várias características existentes nos processos industriais foram definidas. Uma das mais importantes é o identificador único para cada componente da planta. Essa propriedade foi denominada de “hasIdentifier”.

Como em instrumentação industrial os instrumentos e equipamentos possuem *tags*, criou-se uma propriedade denominada de “hasTag”, que é subpropriedade da propriedade “hasIdentifier”. Além disso, incluiu-se uma propriedade a mais denominada de “hasDescription”, para permitir descrição textual do componente. As propriedades associadas à classe “Component” podem ser vistas na Tabela 1.

Devido à grande variedade de equipamentos e instrumentos que podem estar presentes em uma planta industrial, houve a necessidade de se criar subclasses para as classes “Instrument” e “Equipment”, de modo

a refinar a abstração, conforme apresentado na Figura 2. Em termos industriais, as tubulações são constituídas de tubos que se destinam ao transporte de fluidos e troca de calor, como é o caso de serpentinas de caldeiras e fornos industriais, por exemplo. Com isso, como mostrado na Figura 2, a classe “Pipe” também foi especializada.

Tabela 1. Propriedades associadas às classes da ontologia

Propriedade	Domínio	Tipo do Dado	Descrição
hasIdentifier	Component	string	Identificador.
hasTag	Instrument, Equipment Alarm	string	TAG do instrumento, equipamento ou alarme.
hasDescription	Component	string	Permite armazenar uma descrição geral textual do componente.

A classe “Accessory” foi definida para representar qualquer outro componente que não seja um equipamento, uma tubulação, um instrumento ou um alarme, como pode ser visto na Figura 2. A Tabela 2 apresenta outras propriedades definidas na modelagem da ontologia.

Tabela 2. Outras propriedades da ontologia.

Propriedade	(Domínio) -> (Tipo do Dado)	Descrição
hasOrder	(Instrument, Serpentine) -> (int)	Identifica ordem em que um instrumento ou serpentina aparece no componente. Ex.: uma câmara de um forno pode ter várias serpentinas arranjadas sequencialmente e pode ser útil identificar a ordenação delas. O mesmo pode acontecer em sensores ordenados em uma tubulação.
hasValue	(Indicator, Sensor, Alarm) -> (float)	Armazena o valor atribuído a um indicador, sensor ou alarme.
hasAlarm	(Sensor, Controller) -> (Alarm)	Conjunto de alarmes associados ao instrumento.
isAlarm	(Alarm) -> (Sensor, Controller)	Indica a que instrumento o alarme está associado.
hasController	(Actuator) -> (Controller)	Representa o controlador associado ao atuador.
isController	(Controller) -> (Actuator)	Indica qual atuador está associado a determinado controlador.
hasInstruments	(Pipe, Equipment) -> (Instrument)	Conjunto de instrumentos associados a uma tubulação ou equipamento.
isInstrument	(Instrument) -> (Pipe, Equipment)	Indica que tubulação ou equipamento ou instrumento está associado.
hasDownStream	(Equipment, Pipe, ControlValve) -> (Equipment, Pipe, ControlValve)	Indica quais componentes estão ligados imediatamente a jusante daquele que possui a propriedade.
hasUpStream	(Equipment, Pipe, ControlValve) -> (Equipment, Pipe, ControlValve)	Indica quais componentes estão ligados imediatamente a montante daquele que possui a propriedade.
sendSignal	(Sensor) -> (Controller)	Representa o controlador para o qual o sensor envia informação.
receiveSignal	(Controller) -> (Sensor)	Representa de que sensor o controlador recebe informação.
isEquipmentEntry	(Equipment) -> (Component)	Indica quais componentes representam a entrada do equipamento. Ex.: em um forno permite identificar os

		passos que representam suas entradas.
isEquipmentOut	(Equipment) -> (Component)	Indica quais componentes representam a saída do equipamento. Ex.: em um forno permite identificar as serpentinas que são saídas do forno.
hasComponents	(Equipment) -> (Component)	Representa os vários componentes que formam um equipamento. Ex.: um forno é formado por vários outros equipamentos, como: passos, serpentinas, câmaras, chaminé, etc.
isComponent	(Component) -> (Equipment)	Identifica de que equipamento o componente faz parte.
receiveEnergy	(Equipment, Camara, Serpentine) -> (Equipment, Camara, Serpentine)	Modela se um componente recebe energia de outro, por exemplo, modelar que a câmara de um forno recebe energia das serpentinas instaladas dentro dela.
sendEnergy	(Equipment, Camara, Serpentine) -> (Equipment, Camara, Serpentine)	Modela se um componente fornece energia para outro, por exemplo, modelar que as serpentinas do forno fornecem energia para a câmara onde estão instaladas.

4 Unidade de Tratamento DEA

Uma unidade de tratamento de dietanolamina (DEA) é uma planta industrial que permite o tratamento dos gases gerados nas unidades de processo Gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás combustível (GC), removendo principalmente H₂S e CO₂. O seu esquema, em geral, pode ser descrito conforme a Figura 3 (Abadie, 2002).

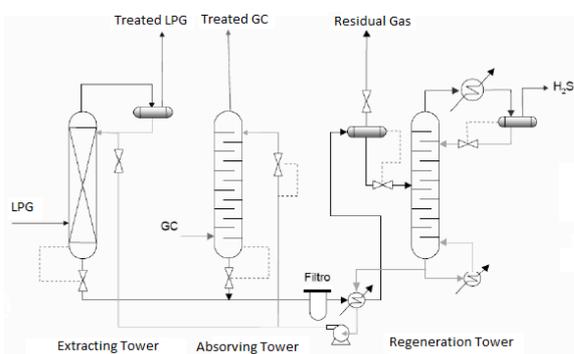


Figura 3. Unidade de Tratamento DEA.

No caso da unidade de tratamento DEA utilizada não há a seção de extração, ou seja, apenas existem as torres de absorção e regeneração. Além disso, não há remoção de CO₂. Em termos de equipamento, basicamente a planta real da unidade de tratamento DEA utilizada é formada por: duas torres, uma para absorção de H₂S e outra para regeneração da DEA rica; duas bombas, uma para circulação da solução DEA e outra para o refluxo da torre regeneradora; quatro vasos, um coletor de hidrocarboneto líquido, um coletor de DEA arrastada, um separador de hidrocarboneto e um ao topo da torre regeneradora; quatro sistemas de troca de calor, dois permutadores, um condensador ao topo da torre regeneradora e um

resfriador de DEA pobre; e um sistema para filtragem para fluidos.

O primeiro passo foi criar uma instância da ontologia para DEA. Em seguida foram criados os indivíduos para cada equipamento presentes na planta real e também para os alarmes, dutos e instrumentos. Em resumo, foram criados os seguintes indivíduos: 41 alarmes; 51 dutos; 38 sensores; 10 sensores chave; 07 controladores e 08 válvulas de controle.

Para a definição das características de cada indivíduo e de como esses equipamentos, instrumentos, dutos e alarmes se relacionam entre si na ontologia, foram atribuídos os valores para as propriedades descritas nas Tabelas 1 e 2.

O resultado mostrado na Figura 4 descreve como indivíduos de vários componentes da ontologia se relacionam através da propriedade “hasUpStream”. Através do mapeamento dessa propriedade, é possível ter a representação do fluxo que o fluido segue na planta. Se o fluxograma de tubulações e instrumentação da unidade de tratamento DEA utilizada como estudo de caso for comparado ao que está apresentado na Figura 4, verifica-se que o indivíduo d01, pertencente à classe “Duct”, representa o duto de entrada da DEA de identificador 8"-HC-98DA-316-Bo. A montante desse duto existe o vaso V-95517, representado pelo indivíduo v1; a montante de v1, há um outro duto de identificador 8"-HC-980A-714-Bo, representado por d02, e assim por diante.

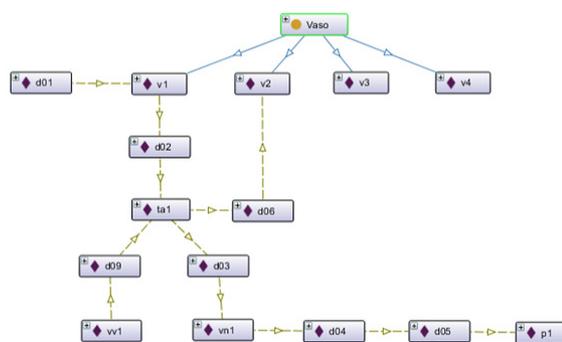


Figura 4. Representação do sentido do fluxo do processo.

Subsequente ao d02, existe a torre de absorção T-98507 (ta1). Ela possui dois dutos de saída, d03 (6"-DA-980A-651-Bo) e d06 (8"-HC-980A-718-Bc), e dois dutos de chegada, d02 e d09 (6"-DA-980A-684-Cc). Assim, percebe-se que a ontologia proposta também modela a situação em que um mesmo componente da planta industrial pode ter mais de uma entrada ou mais de uma saída.

5 Correlação Semântica de Alarmes

Devido ao crescente número de alarmes apresentados aos operadores de plantas industriais, várias indústrias preocupadas com a segurança de seus processos estão em um árduo trabalho de minimização das ocorrências desses alarmes através de um estudo chamado de racionalização de alarmes

(Leitão et. al, 2008). Na atividade de racionalização de alarmes, uma equipe multidisciplinar é selecionada para avaliar a necessidade de cada alarme configurado. O desafio é manter o sistema monitorado de forma que o número de ocorrências apresentadas ao operador seja condizente com a habilidade humana de processar e tratar informações (EEMUA, 1999).

Essa equipe necessita de ferramentas para avaliar e encontrar alarmes configurados erroneamente. Nesta seção será apresentado um estudo de caso no tratamento avançado de alarmes com o objetivo de encontrar alarmes correlacionados temporalmente com a ajuda do conhecimento do fluxo do processo modelado via ontologia, auxiliando na busca por alarmes desnecessários.

A extração de conhecimento do fluxo do processo foi realizada através da utilização da instância da ontologia para a planta DEA, descrita na seção anterior. Para a aplicação de correlação semântica de alarmes, inicialmente foi preciso ordenar os alarmes presentes na DEA. O algoritmo de ordenação é ilustrado através da Figura 5. Os retângulos representam alarmes que estão em algum instrumento, que podem estar conectados a dutos ou equipamentos. Já as setas sinalizam a direção de escoamento do fluido pelos dutos e equipamentos da planta DEA. As setas também representam equipamentos ou dutos que não possuem alarmes. Em termos de localização física, elas indicam que o equipamento ou duto está localizado fisicamente anterior ou após o duto/equipamento, cujo alarme está associado.

Dessa maneira, é possível ter mais de uma sequência de ordenação de causalidade para os alarmes, como por exemplo:

- Ordenação 1: A -> B -> D -> G -> H -> I
- Ordenação 2: A -> C -> E -> H -> I
- Ordenação 3: A -> C -> F

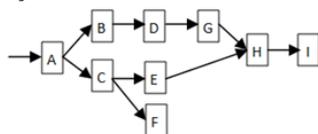


Figura 5. Ordenação física dos alarmes.

Com isso, é possível inferir que o alarme A está fisicamente antes de qualquer alarme na planta. Já o alarme B só está posicionado anterior aos alarmes D, G, H e I. O alarme C está anterior ao E, F, H e I e assim por diante. Por outro lado, não é possível inferir que o alarme H está localizado antes ou depois do alarme F, pois em termos de sequência eles aparecem em filas de ordenação distintas.

Nessa lógica, é possível inferir um nível de vizinhança entre os alarmes, incluindo a distância entre eles. Por exemplo, caso se deseje saber os vizinhos do alarme C, considerando-se apenas distâncias de uma unidade, o resultado seria: A, E e F. Por outro lado, se é desejado saber os vizinhos de D a uma distância de 2 unidades, teríamos: A, B, G e H.

O algoritmo de correlação de alarmes padrão tem como entrada o período de análise, um determinado alarme e a largura da janela de tempo. O cálculo busca todas as ativações do alarme escolhido e verifica quais outros alarmes ocorreram durante a janela de tempo fornecida. A janela é posicionada a partir de cada ativação do alarme selecionado. O resultado da correlação é dado pela razão entre o número de janelas que um determinado alarme ocorreu em relação ao total de ocorrências do alarme de referência

Com a informação semântica adicional da ordenação dos alarmes e de sua vizinhança é possível filtrar do resultado da correlação de alarmes daqueles alarmes sem proximidade no processo, podendo inclusive informar o nível de vizinhança se assim for desejado.

Para os resultados, utilizou-se um período de tempo de um mês e janela de tempo de 10 minutos para cálculo das correlações. A Figura 6 apresenta o resultado obtido de correlação entre alarmes utilizando-se apenas o algoritmo básico. A Figura 7 apresenta um agrupamento de três filas de ordenação dos alarmes, através da instância da ontologia para a DEA.

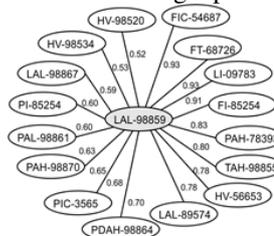


Figura 6. Correção de alarmes usando o algoritmo básico.

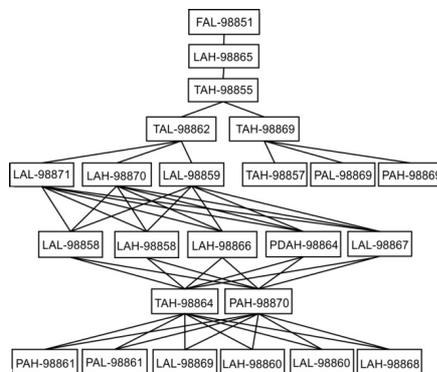


Figura 7. Exemplo de filas de ordenação de alarmes.

Agregando-se a informação semântica ao algoritmo de correlação realizou-se uma filtragem dos resultados, retirando os alarmes que não tivessem relação de vizinhança com o alarme de referência. A Figura 8 mostra os resultados obtidos para o cenário descrito na Figura 6, porém considerando-se agora alarmes que possuem vizinhança de uma unidade com o alarme de referência. Já a Figura 9 apresenta o resultado considerando vizinhança de duas unidades com o alarme de referência.

Devido à grande quantidade de dados espúrios presentes nos logs de alarmes e eventos de um típico processo industrial complexo, ferramentas de filtragem através do conhecimento do fluxo do processo, tornam-se bastante relevantes como forma de excluir

do resultado relações improváveis devido à disposição no fluxo de energia e fluidos do processo.

Assim, como pode ser observado pela análise dos resultados apresentados nas Figuras 8 e 9, o conhecimento do processo industrial consolidado estruturado em ontologia permite elevar a um novo patamar os algoritmos de análise e diagnóstico de processos industriais.

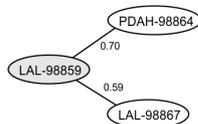


Figura 8. Correlação de alarmes com vizinhança de uma unidade.

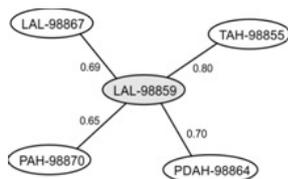


Figura 9. Correlação de alarmes com vizinhança de duas unidades.

6 Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma aplicação para correlação semântica de alarme, através estruturação do conhecimento no domínio de automação industrial com ontologia. A aplicação foi validada através de dados reais advindos de uma planta real de tratamento de DEA.

Essa abordagem baseada em ontologia incluiu aspectos semânticos no procedimento de obtenção da correlação entre alarmes, sem considerar apenas a temporalidade da ativação das ocorrências de alarmes. Permitiu-se um melhor auxílio de procedimentos de diagnósticos de anomalias em processos industriais, pois alarmes associados com equipamentos fisicamente desacoplados no processo industrial podem vir a apresentar alta correlação temporal por motivos alheios à causalidade dos eventos que descrevem a dinâmica do processo. Deste modo, a análise baseada na simples correlação temporal entre alarmes pode levar a conclusões equivocadas, quando, por exemplo, há uma má configuração de alarmes.

A adição de informação vindas da estruturação do conhecimento permite melhorar bastante as análises de operação de processos industriais. No caso específico apresentado referente à filtragem de alarmes, a melhoria nos resultados da correlação de alarmes foi proporcionada pela ordenação física causal dos alarmes e determinação do nível de vizinhança entre eles, que só foi possível através da estruturação do conhecimento da ontologia.

Referências Bibliográficas

Abadie, W. (2002). Apostila Petrobrás Refino de Petróleo.

Aizpurúa, O., Galán, R. and Jiménez, A. (2008). A New Cognitive-Based Massive Alarm Management System in Electrical Power Administration. Proceedings of the 7th International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems, Mexico, p.28-30.

Bernaras A., Laresgoiti, I., Corera, J. and Bartolomé, N. (1996). An Ontology for Fault Diagnosis in Electrical Networks. Proceedings of the Intelligent System a Applications to Power System, p. 199-203, IEEE.

EEMUA. (1999). Alarm Systems A Guide to Design, Management and Procurement. The Engineering Equipment and Materials Users Association, n. 191.

Habibi, E., and Hollifield, B. (2008). Alarm Systems Greatly Affect Offshore Facilities Amid High Oil Prices, World Oil Magazine, 227(9).

Knublauch, H., Rector A., Stevens R. and Wroe1 C. (2004). A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using The Protégé-OWL Plugin and COODE Tools, Edition 1.0.

Laallam, F. Z, and Sellami, M. (2007). Gas turbine ontology for industrial processes, Journal of Computer Science, 3 (2), p.113-118.

Leitão, G. B. P., Pifer, A., Guedes, L. A, Saito, K. and Aquino, L. Aquino (2008). Petrochemical Plants Alarms Analysis and Optimization System, Rio Oil&Gas.

Lindoso, A. N. (2006). Uma metodologia baseada em ontologias para a engenharia de aplicações multiagentes (in portuguese) , Master dissertation, UF-MA, Brazil.

Morbach, J., Yang, A. and Marquardt, W. (2007). Ontocape: A large-scale ontology for chemical process engineering, ScienceDirect. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 20, p.147-161.

Morbach J., Wiesner, A. and Marquardt, W. (2009). OntoCAPE—A (re)usable ontology for computer-aided process engineering, vol. 33, p. 1546–1556.

Natarajan, S., Ghosh, K. & Srinivasan, R. (2012). An ontology for distributed process supervision of large-scale chemical plants. Computers and Chemical Engineering, 46, 124-140.

Noy, N. F. and McGuinness, D. L. (2001). Ontology development 101 : a guide to creating your first ontology, “Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05”, Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880.

Pinto, P. F. B., and Paula, G. L. (2009). Aplicações Práticas de Gerenciamento de Alarmes em Sistemas SCADA”, Congresso Rio Automação.

Quintão, H. C. M. (2008). Especificação de um sistema multiagente de recomendação de ações em caso de falhas de sistema de automação e controle industriais (in portuguese), Master dissertation, UF-MA, Brazil.

Sowa, J. F. (1999). Knowledge representation: Logical, philosophical, and computational foundations, Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove.