

## CEEIAS: AVALIAÇÃO DE EVENTOS EM UM SISTEMA DE ALARMES INDUSTRIAL

MÁRCIO J. DA SILVA\*, CARLOS E. PEREIRA\*, MARCELO GÖTZ\*

*\*Departamento de Automação e Energia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Av. Osvaldo Aranha, 103, +55 51 3308-3129  
Porto Alegre, RS, Brasil*

Emails: marciojsmb@gmail.com, cpereira@ece.ufrgs.br, mgoetz@ufrgs.br

**Abstract**— The selection of alerts within an industrial plant is not an easy task, due to the huge amount of variables available. The alarm management system, essential to facilitate the work of the plants operators using supervisory systems and process control, has a problem: operator's cognitive overload. This paper presents an approach with storage system for alarms, data and information that make it possible the analysis of occurrence of certain events and determine a situation. It is proposed to evaluate event patterns using semantic rules. Using rules and ontology combined together, it is possible to use knowledge to the alarm management of an industrial plant. With a rule stored at the context model level, it is possible to evaluate the patterns. Having a situation detection being made with an ontological context, a knowledge-based approach seems to be more effective to this task. For the concept evaluation, a case study was used based on a real historical database. To combine deterministic knowledge with probabilistic knowledge, a Bayesian Networks was used.

**Keywords**— Event, Context, Semantic Rules, Bayesian Network.

**Resumo**— A seleção de alertas em uma planta industrial não é uma tarefa fácil devido à grande quantidade de variáveis disponíveis. O sistema de gerenciamento de alarmes, que é primário para otimizar o trabalho dos operadores em plantas industriais, utilizando sistemas de supervisão e controles de processo, possui um problema relacionado a sobrecarga cognitiva dos operadores. Este trabalho apresenta uma abordagem com um sistema de armazenamento de alarmes, dados e informações, para possibilitar a análise da ocorrência de determinados eventos que determinam uma situação. A proposta é avaliar os padrões de eventos a partir de regras semânticas. A partir da combinação de regras e ontologia é possível aplicar o conhecimento para melhorar o gerenciamento de alarmes em uma planta industrial. Com uma regra armazenada no nível do modelo de contexto é possível avaliar os padrões de eventos que ocorrem no processo. A partir do reconhecimento de uma situação com um contexto ontológico, uma abordagem baseada em conhecimento parece ser mais eficaz para esta tarefa. Para avaliar o conceito, foi realizado um estudo de caso baseado em uma base de dados real, integrando o conhecimento determinístico com o conhecimento probabilístico a partir de redes Bayesianas.

**Palavras-chave**— Evento, Contexto, Regras Semânticas, Redes Bayesianas.

### 1 Introdução

Apresentamos neste artigo uma abordagem para uma planta industrial que permite apoiar os operadores. Para evitar a sobrecarga cognitiva do operador, o sistema utiliza regras semânticas para avaliação dos padrões de eventos armazenados em uma base de dados de processo. Dessa forma, é possível determinar se uma situação está ocorrendo no tempo atual e a partir de um modelo de predição, determinar a probabilidade desta situação ocorrer em um futuro próximo.

As tecnologias existentes em controle automático de processos possibilitam coletar e armazenar dados, gerando taxas de alertas que excedem os níveis gerenciáveis pelo ser humano. De acordo com (Habibi and Hollifield, 2006), antes do surgimento dos sistemas de controle distribuídos, um operador monitorava tipicamente painéis com no máximo 50 alertas de alarmes que requeriam uma ação corretiva.

Alarmes, considerando eventos discretos, ocorrem quando uma variável ou uma função permanecem fora dos limites operacionais, sendo que estes alarmes são disparados permitindo gerar

alertas, ou seja, o alerta é o que facilitará a tomada de decisão sobre os eventos que estão ocorrendo no processo.

Uma planta industrial é um ambiente complexo composto por diferentes recursos. Acidentes ocorridos em plantas industriais confirmaram o resultado da negligência na configuração destes recursos associados aos sistemas de alarmes, como ocorrido em 1994 na refinaria de Milford Haven, que data o começo dos trabalhos mais relevantes no sentido de desenvolver guias e normas relacionadas, como por exemplo a (ANSI/ISA-18.2-2016., 2016).

O ponto mais significativo desta questão é a incorreta decisão operacional quando o operador necessita avaliar um volume de eventos que excede a capacidade humana. Neste contexto, a avaliação de padrões de eventos surge como uma opção para apoiar os operadores no monitoramento de um processo industrial. Isso pode ser implementado com uma base de conhecimento, que utiliza informações do domínio para inferência e que atenda a necessidade do operador. Este tipo de sistema foi escolhido porque leva em consideração uma importante fonte de conhecimento que per-

manece armazenado no processo, afim de evitar uma sobrecarga cognitiva da pessoa.

A especificação de uma base de conhecimento sensível ao contexto e a metodologia de acesso aos dados da base são as principais contribuições deste artigo. Neste trabalho é definido um método para avaliação de eventos em um cenário real. Isto é possível a partir da validação da consistência do modelo desenvolvido, permitindo inferir novos relacionamentos entre os conceitos e descobrir um conhecimento anteriormente implícito.

A aplicação de raciocínio ontológico na indústria pode ser executada para inferir novas situações de contexto baseado em classes e propriedades modeladas e no estado atual da planta. Os dados de contexto gerados na planta eventualmente produzem informações imprecisas que podem ser processadas por meio de raciocínio probabilístico.

Em sistemas de automação são gerados inúmeros eventos por dispositivo. Estes eventos devem ser coletados e avaliados de forma a permitir ações mais precisas no processo, conforme representado na Figura 1. Como consequência, devido ao crescente número de dispositivos monitorados, a operação não é realizada eficientemente por um ser humano, e a forma como os alarmes são mostrados nos sistemas de automação mais atuais, em geral em forma de lista, faz com que durante um distúrbio no processo, a planta possa atingir uma situação incontrolável.

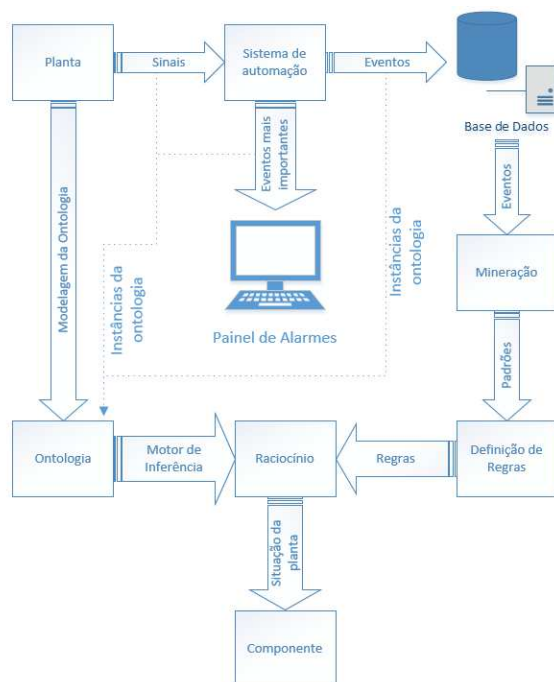


Figura 1: Representação da abordagem proposta.

Segundo (Carvalho et al., 2016), a representação probabilística ocorre a partir da modelagem de um domínio, definindo classes e relacionamentos. O modelo probabilístico utiliza linguagem de primeira ordem MEBN (*Multi-Entity Bayesian*

*Network*), na qual os fragmentos (MFragments) expressam a incerteza no relacionamento entre as entidades. Esses fragmentos fazem parte de uma MEBN theory (MTheory) que expressa a distribuição de probabilidade das situações que envolvem as entidades do domínio.

Para tanto, é necessário possuir um conhecimento sobre o processo para a modelagem da situação. A ontologia desenvolvida permite a partir de uma linguagem formal a representação de informações semânticas e o gerenciamento de situações anormais.

Este trabalho está estruturado como segue. Na Seção 2 são apresentados alguns conceitos e trabalhos relacionados. A abordagem desenvolvida é descrita na Seção 3. Para avaliação da proposta, esta foi aplicada em um estudo de caso, apresentado na Seção 4. Na Seção 5 é discutida a aplicação do modelo e apresentada algumas conclusões.

## 2 Conceitos e Trabalhos Relacionados

De acordo com (Bettini et al., 2010), a modelagem de contexto pode ser implementada utilizando ontologias. A linguagem utilizada para a construção de ontologias é o OWL (Web Ontology Language), em suas versões DL e Lite permitem o uso de motores de inferência e possibilitam o uso de lógica descritiva, a fim de checar a consistência do modelo desenvolvido além de inferir novos relacionamentos (Knublauch et al., 2004).

O trabalho de (Quintao and Rosario, 2008) apresenta o desenvolvimento de um modelo de um sistema computadorizado que permite a filtragem de anomalias críticas do processo. Não foram aplicadas ontologias na representação desta proposta. Entretanto, um sistema multi-agentes é aplicado no desenvolvimento apresentado.

O modelo da informação de contexto na ontologia é usado com o raciocínio, no trabalho de (Ye, Dobson and McKeever, 2011), que descreve que a modelagem semântica é responsável pela flexibilidade e a manipulação de complexidade, como no caso de um processo automatizado.

O trabalho de (Machado et al., 2013) propõe que os sistemas de modelo de contexto devem ser destacados. Ações reativas para manipular a situação de interesse. O raciocínio sobre situações é realizado por meio do inter-relacionamento entre o formalismo utilizado na definição da ontologia e regras definidas em SWRL (*Semantic web Rule Language*).

O trabalho apresentado por (Maran et al., 2015) apresenta uma integração de definições de contexto armazenadas em uma base de dados. Na abordagem dos autores, são apresentados meios para integrar o contexto e o domínio da informação. Para tanto, definem uma ontologia genérica para modelagem da situação onde o objetivo é de-

finir um conceito de estrutura. Segundo os autores, eventos iniciam e terminam situações correntes e influenciam em situações preditivas a partir de uma modelagem probabilística *Probabilistic Web Ontology Language* (PR-OWL), que é uma extensão probabilística da OWL.

A partir da análise e leitura dos trabalhos apresentados acima, é possível identificar um padrão de categorias de informação modelado para aplicações pervasivas. Além do padrão de informação, também é observado que os trabalhos são limitados no modelo de contexto e na informação do domínio da ontologia.

### 3 Modelo para Avaliação de Eventos Coletivos em um Sistema de Alarmes Industriais

A arquitetura do sistema desenvolvido visa apoiar a avaliação de padrões de eventos. Denominado de CEEIAS - *Collective Events Evaluation in Industrial Alarm System*, este sistema leva em consideração as dimensões das informações encontradas em trabalhos relacionados na Seção 2.

A união do modelo instanciado com as regras semânticas e o raciocínio para a lógica de inferência forma a base de conhecimento usada para avaliar as situações da planta de modo sensível ao contexto, como apresentado em (Silva, 2016).

Este modelo possui, além dos elementos de domínio e de contexto, as regras da aplicação responsáveis pela seleção dos eventos gerados pela planta.

A arquitetura do sistema envolve o uso de raciocínio com regras semânticas e o modelo de contexto. A planta possui dispositivos que produzem dados brutos, e que podem ser agregados dentro de um conjunto de entidades de domínio e produzem eventos.

#### 3.1 Modelagem de Contexto

Existem diferentes abordagens para modelagem de contexto. A abordagem ontológica, que utiliza ontologias (Gruber, 1993), pode ser descrita por conceitos e seus relacionamentos. É importante considerar o reuso de ontologias existentes, pois diminui a possibilidade de erros. Alguns dos trabalhos apresentados na Seção 2 foram estendidos para as características de domínio da planta industrial.

Para descrever os elementos de contexto e seus relacionamentos, uma abordagem baseada em ontologia provê uma especificação formal dos dados de contexto e permite a representação do conhecimento em um mais alto nível semântico. A ontologia implementada para representar o conhecimento sobre o processo, é representada por uma lista finita de termos e significados. A partir da modelagem e do raciocínio lógico descritivo sobre

certas situações, faz com que estas situações sejam classificadas. Isso permite a organização sob a forma de contextos pré-estabelecidos. Assim é possível determinar possíveis situações da planta.

Para codificar esta ontologia, uma linguagem OWL permite a descrição de classes, propriedades e instâncias, além de prover uma especificação de uma semântica formal, permitindo derivar consequências lógicas implícitas na ontologia.

O software Protégé (Stanford, 2015), desenvolvido pela universidade de Stanford, apresenta um padrão de funcionamento que permite verificar inconsistência do modelo a partir de um motor de inferência, com base na definição das classes.

A ontologia apresentada em (Silva, 2016) permite a caracterização de plantas industriais e define um modelo a partir dos passos definidos por (Noy and McGuinness, 2001). Os aspectos relacionados a planta são implementados a partir de uma ontologia que permite especificar um conhecimento. A especificação dos eventos que ocorrem no mundo real, conforme apresentado por (Ye, Stevenson and Dobson, 2011) são derivados de um contexto, a partir das hipóteses sobre como este contexto de interesse observado se refere a fatores de interesse.

#### 3.2 Importar as Instâncias

Nesta etapa, apresentamos a implementação do acesso a base de dados utilizando o *plug-in Ontop* aplicado ao domínio da planta. Este *plug-in open source* foi desenvolvido pela universidade Bolzen Bolzano, definido como *Ontology Based Data Access* (OBDA).

O *plug-in Ontop* permite a conexão a uma base de dados, implementar mapas e formular consulta SPARQL (Kontchakov et al., 2014).

#### 3.3 Mineração do Processo

Através da mineração de dados do processo, a frequência de alarmes agrupados com as mesmas características foi extraída a partir de um case denominado composto. Os eventos capturados são adicionados à base de dados do historiador. Estes eventos armazenados são então analisados (Silva, 2016).

Um dos cenários mais comuns provocados por um distúrbio no processo em uma planta industrial é o disparo de uma série de alarmes. A mineração de dados é realizada aplicando a ferramenta open source ProM, que extrai log de eventos da base de dados, conforme apresentado por (Verbek et al., 2010) e implementado neste estudo de caso. Realizamos o processo de mineração seguindo os passos descritos por (Fayyad et al., 1996) para os dados selecionados.

Um pré-processamento das informações coletadas é necessário para ser incluído no modelo.

São selecionados eventos registrados para investigar os alarmes ocorridos. Segundo (Fayyad et al., 1996), as etapas de redução de dados e projeção permitem encontrar um número efetivo de variáveis a serem consideradas para determinação dos padrões que podem ser considerados um novo conhecimento.

### 3.4 Rede Bayesiana

Os dados produzidos por sensores são propensos a erros. Da mesma forma, a ideia que se possui sobre a definição de uma situação preditiva, a qual poderá acontecer no futuro é incerta. Para isso, uma rede bayesiana é um modelo gráfico flexível para se expressar uma distribuição de probabilidades conjunta em hipóteses inter-relacionadas, permitindo então a representação da incerteza em web semântica. Ontologias probabilísticas permitem descrever o conhecimento sobre um domínio e uma incerteza associada com esse conhecimento. Assim, são utilizadas linguagens probabilísticas de primeira ordem Multi-Entity Bayesian Networks (MEBNs) (Laskey, 2008).

A modelagem com a extensão probabilística é representada na Figura 2. As relações semânticas formam uma teoria MEBN. A definição de cada um dos blocos pode ser obtida em (Silva et al., 2016).

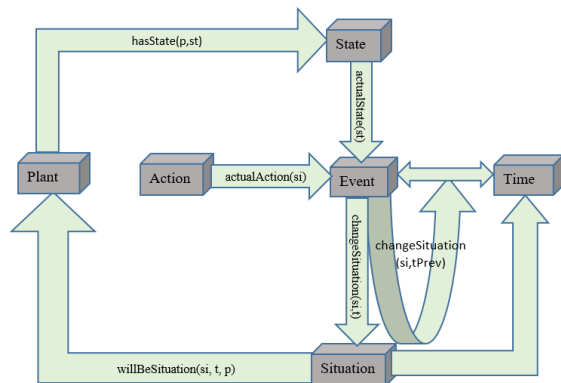


Figura 2: Ontologia Probabilística.

### 3.5 Regras Semânticas

Neste estudo foram investigados os eventos de um histórico que resultam em um conhecimento a partir de regras SWRL (*Semantic Web Rule Language*) para o contexto de interesse. De acordo com (Horrocks et al., 2005), o SWRL é uma linguagem no formato *Horn-Like* adicionado ao OWL por meio de axiomas no formato OWL-DL que permite a definição de um raciocínio a partir das instâncias definidas na ontologia.

A partir de regras semânticas é gerada a capacidade de raciocínio, ou seja, obter a informação inferida a partir da semântica definida na linguagem OWL.

### 3.6 Comportamento Preditivo

A partir do cálculo da distribuição de probabilidade, é possível calcular a distribuição de probabilidade conjunta a partir das probabilidades condicionais locais.

Uma MEBN não apresenta um padrão para as TPC (Tabelas de Probabilidade Condicionais) (Laskey, 2008). As regularidades estatísticas utilizadas em uma base de conhecimento são resultantes da etapa de mineração de processo.

Este trabalho permite analisar a probabilidade da unidade estar em uma situação de interesse *Reactive*, conforme descrito por (Charniak, 1991).

## 4 Estudo de Caso

Esta seção trata da identificação da situação de interesse a partir do contexto analisado. Os predicados de contexto formam a situação. É possível determinar os fatores de contexto que ocorrem durante o processo.

Neste estudo de caso foram analisados dados armazenados que foram gerados durante a produção de uma planta de geração térmica de energia elétrica. Para identificar os contextos e situações de interesse, foram analisados os dados do histórico a partir de mineração de processo a partir dos contextos definidos em (Silva et al., 2016).

As regras são formadas pela implicação entre antecedente e consequente. É importante determinar que, uma vez satisfeitas as condições especificadas na parte antecedente, então as condições consequentes também devem ser atendidas. A motivação para determinar o estado da planta é prover um subsídio ao operador para determinar as ações necessárias. De acordo com o tipo de situação detectada, alertas específicos podem ser emitidos, filtrando os eventos de acordo com a situação. Esta filtragem pode ser realizada priorizando os alertas para a situação corrente.

Uma situação é um conjunto de características de contexto que são invariáveis em um intervalo de tempo. Para melhor entender este estudo de caso, uma regra semântica é apresentada para a situação de interesse (Maran et al., 2015).

As regras em SWRL são definidas na forma de implicação entre um antecedente (corpo) e um consequente (cabeça). Uma vez que as condições especificadas na primeira parte (corpo) forem atendidas, então as condições consequentes (cabeça) devem ser atendidas (Horrocks et al., 2005). Ambas as partes são formadas por átomos que estão presentes nas regras SWRL. Assim, se todas as condições estabelecidas no corpo da regra forem atendidas, então a parte principal é combinada com as instâncias presentes no modelo de contexto e a recomendação é inferida.

Com a ontologia da planta é possível definir



um conjunto de regras para as diferentes situações da planta. Para esta situação, basta que a recomendação indique a situação atual (Silva, 2016). Em 1 é possível verificar um exemplo de uma dessas regras.

$Plant(? , x)$

$$\begin{aligned}
 &\wedge hasEvent(?e, bloqueio\_da\_caldeira) \\
 &\wedge hasEvent(?e, operacao\_manual\_disjuntor\_52) \\
 &\wedge hasEvent(?e, estado\_disjuntor\_52\_3) \\
 &\wedge hasEvent(?e, unidade\_sincronizada) \\
 &\wedge hasEvent(?e, turbina\_em\_giro) \\
 &\wedge hasEvent(?e, disjuntor\_de\_campo\_aberto) \\
 &\wedge hasEvent(?e, turbina\_bloqueada) \\
 &\rightarrow isSituation(?x, Reactive)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

O padrão avaliado representa o comportamento dos eventos que ocorreram no processo. As regras definidas em SWRL (como apresentado em 1) foram implementadas no software Protégé, que analisa as regras definidas e define a situação corrente. Deste modo, a utilização da ontologia se mostrou apropriada para formalizar este conhecimento, e o uso das regras de inferência permite inferir se uma situação atual está ocorrendo.

A partir do padrão de eventos analisado, foram gerados os dados probabilísticos para um cenário real. Assim, pode-se determinar para a consulta: Qual a probabilidade de uma situação preditiva (*Reactive*) em um tempo específico envolver a planta em seu estado de funcionamento. Os fragmentos probabilísticos que formam o modelo foram desenvolvidos utilizando UnBBayes, conforme apresentado na Figura 3 (Haberlin, 2013).

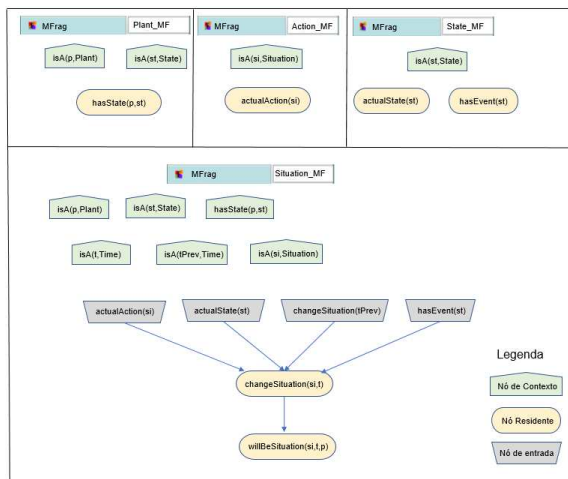


Figura 3: Resultado da implementação da MEBN proposta no UnBBayes.

A partir dos fragmentos que formam a teoria MEBN é gerada a Rede Bayesiana de Situação Específica, conforme apresentado na Figura 4.

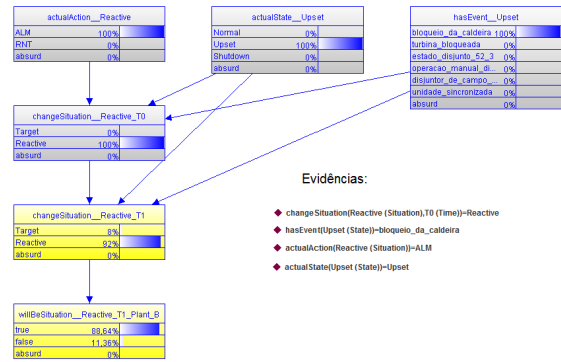


Figura 4: Resultado da análise probabilística a partir do plugin MEBN no UnBBayes.

## 5 Conclusão

A análise dos alarmes a partir dos sistemas de gerenciamento de alarmes e de sinalização atuais exige do operador um conhecimento amplo, principalmente durante os casos onde as taxas de alarmes ultrapassam os limites aceitáveis.

Neste estudo de caso, apresentamos uma aplicação que representa o resultado de um conhecimento em alto nível de abstração. Em um sistema de alarmes típico, não existe a informação sobre o contexto em que o processo se encontra.

Neste artigo analisou-se as situações referentes ao contexto atual. Observou-se que é possível analisar um volume de eventos que não seria prático de forma manual. Além disso, estabelecer regras para as diferentes situações e gerar conhecimento a partir de um mecanismo de raciocínio lógico que avalia os padrões detectados.

O modelo ontológico de contexto comparado a outro sem a informação de contexto possibilita, além de compartilhar o conhecimento por meio de uma especificação formal de dados de contexto, o uso de motores de inferência. Os motores de inferência utilizam lógica descritiva, permitindo a verificação da consistência do modelo e a inferência da situação.

Conforme apresentado, a representação de incertezas em uma ontologia é possível a partir de uma abordagem probabilística. A partir do padrão analisado, foram gerados os dados probabilísticos para um cenário real e apresentadas como evidências no software UnBBayes. As evidências são adicionadas na teoria MEBN como axiomas, diretamente nos templates (MFrag), conforme mostra a Figura 3.

A partir dos resultados apresentados, e após conhecido o padrão de eventos e validado em uma situação atual, é possível apresentar a partir de um modelo que permita determinar estatisticamente a ocorrência de uma situação futura, a probabilidade da unidade estar na situação de interesse *Reactive*.

### Referências

- ANSI/ISA-18.2-2016. (2016). *Management of Alarm Systems for the Process Industries. The International Society of Automation*. Disponível em: <http://www.isa.org>. Acesso:09fev.2017.
- Bettini, C., Brdiczka, O., Henriksen, K. et al. (2010). A survey of context modelling and reasoning techniques, *Pervasive and Mobile Computing*, v. **6**.
- Carvalho, R. N., Laskey, K. B. and Costa, P. C. G. (2016). Uncertainty modelling process for semantic technology., *PeerJComputi.* v. **10**.
- Charniak, E. (1991). Bayesian network without tears, *AI Magazine, American Association for Artificial Intelligence (AAAI)*. . Disponível em: <http://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/918/836>. Acesso:08mar.2017.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. and Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge from volumes of data.
- Gruber, T. R. A. (1993). translation approach to portable ontology specifications, *Knowledge Acquisition, London*, v. **5**: 199–220.
- Haberlin, R. (2013). Unbbayes pr-owl 2.0 tutorial. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/unbbayes/files/UnBBayes>. Acesso:03jan.2017.
- Habibi, E. and Hollifield, B. (2006). Alarm systems greatly affect offshore facilities amid high oil process, *World Oil Magazine, Houston*, v. **227**: 1–4.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Bechhoffer, S. and Tsarkov, D. (2005). Owl rules: A proposal and prototype implementation, *Journal of Web Semantics*, v. **3**.
- Knublauch, H., Rector, A., Stevens, R. and Wroel, C. A. (2004). Practical guide to building owl ontologies using the protege-owl plugin and coode tools.
- Kontchakov, R. et al. (2014). Answering sparql queries over database under owl 2 ql entailment regime.
- Laskey, K. B. M. A. (2008). language for first-order Bayesian knowledge bases, *Artificial Intelligence, Essex*, v. **172**: 140–178.
- Machado, A., Pernas, A. M., Augustin, I., Thom, L. H., Wives, L. K. and Oliveira, J. P. M. (2013). Situation-awareness as a key for proactive actions in ambient assisted living. 15th international conference on enterprise information systems, pp. 418–426.
- Maran, V., Machado, A., Augustin, I., Wives, L. K. and Oliveira, J. P. (2015). Proactive domain data querying based on context information in ambient assisted living environments., *17th International Conference on Enterprise Information Systems* .
- Noy, N. F. and McGuinness, D. L. (2001). A guide to create your first ontology, *Ontology Development* **101**.
- Quintao, H. and Rosario, G. (2008). Especificação de requisitos de um sistema de gerenciamento de alarmes baseado em recomendação de ações.
- Silva, M. J. (2016). *Modelagem Semântica de Contexto Aplicada em um Histórico de Alarmes de Processo*, Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica - UFRGS.
- Silva, M. J., Pereira, C. E. and Gotz, M. (2016). Knowledge awareness in alarm systems database, *3rd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Service and Technology (AMEST16)* .
- Stanford, P. (2015). Stanford center for biomedical informatics research (bmir) at the stanford university school of medicine. Disponível em: <http://protege.stanford.edu>. Acesso:4jan.2017.
- Verbek, H. M. W. et al. (2010). Prom6: The process mining toolkit., pp. 34–39.
- Ye, J., Dobson, S. and McKeever, S. (2011). Situation identification techniques in pervasive computing: a review., *In: Pervasive and Mobile Computing*, v. **8**.
- Ye, J., Stevenson, G. and Dobson, S. A. (2011). Top-level ontology for smart environments., *In: Pervasive Mobile Computing*, v. **7**.