



# **Ontologia para representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho**

**Vanderlei Freitas Junior**

***Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor de ensino básico, técnico e tecnológico e pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Sombrio***

**Alexandre Leopoldo Gonçalves**

***Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção. Professor do Departamento de Engenharia do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina***

**Victoria Uren**

***Doutorado em Ciência da Computação. Professora da Aston Business School, na cidade de Birmingham, Reino Unido***

**Cristiane Raquel Woszezenki**

***Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora de ensino básico, técnico e tecnológico e pesquisadora do Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá***

**<http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/2609>**

*Parte integrante de sistemas de avaliação de desempenho, os indicadores são, muitas vezes, compartilhados ou comparados. Entretanto, alguns indicadores possuem associada certa vaguidade e imprecisão. Neste sentido, a representação semântica de indicadores é evidenciada na literatura, incluindo-se o tempo para a complementação da significação destes indicadores. Este estudo buscou analisar os trabalhos acerca da representação semântica de tempo através de ontologias, selecionados após revisão bibliométrica,*

*optando-se pelo reuso de um modelo de conhecimento que melhor atendesse ao propósito de representar o tempo no contexto dos indicadores de desempenho. Usando-se a metodologia METHONTOLOGY, concluiu-se pela SWRL Temporal Ontology, em razão de contemplar o maior número de granularidades possível para instantes ou pontos de tempo.*

**Palavras-chave:** *Indicadores de desempenho. Ontologia. Ponto de tempo.*

## **Time representation ontology in the context of performance measurement indicators**

*Performance measurement indicators are widely used by organizations in order to assess, measure and classify organizational performance. As part of performance measurement systems, indicators are often shared or compared to different internal sectors of the organization, or even with other companies. However, some indicators are associated with vagueness and imprecision. In these cases, literature related to time representation can clarify the need for the semantic representation of indicators. This work seeks to analyse the studies available, selected after bibliometric review, on the semantic representation of time through ontologies. The purpose of this is to identify a knowledge model which best served the purpose of representing time in the performance indicators' context. After applying the METHONTOLOGY methodology, it was concluded that the most suitable option is the SWRL Temporal Ontology, due to its ability to represent fine levels of granularity for points of time.*

**Keywords:** *Indicadores de desempenho. Ontologia. Ponto de tempo.*

Recebido em 06.11.2015 Aceito em 27.08.2018

### **1 Introdução**

As organizações modernas têm buscado cada vez mais aprimorar seus produtos e processos, garantindo vantagens competitivas. Neste sentido, as medidas de desempenho têm sido reconhecidas como

importantes ferramentas a serviço do desenvolvimento das organizações (JIN et al., 2013). Velimirovic, Velimirovic e Stankovic (2011) afirmam que o acompanhamento contínuo destas medidas de desempenho tem sido a base para a melhoria do desempenho organizacional, sendo a expressão qualitativa e quantitativa de alguns resultados a partir da seleção de indicadores. Em outras palavras, os autores afirmam que as medidas de desempenho permitem que as organizações efetivamente expressem seu sucesso através dos números.

Este desempenho, bastante perseguido nos dias atuais, pode ser entendido como o somatório de todos os processos que permitem aos gestores a tomada de decisão no presente visando a criação de uma organização mais eficaz no futuro (NEELY, 2002). Kaplan e Norton (1992), por sua vez, referem que o desempenho só pode ser expresso como um conjunto de parâmetros ou indicadores que são complementares e, por vezes contraditórios, que descrevem o processo através do qual são alcançados os vários tipos de resultados.

Assim, a medida de desempenho possibilita às organizações a realização de um diagnóstico de potencialidades e insuficiências, permitindo determinar o alinhamento com seus objetivos a partir da análise de indicadores que, por sua vez, ocupam papel central nestes processos de avaliação.

Neste estudo, estes indicadores são considerados como “informações quantitativas ou qualitativas que representam o resultado de uma ou mais medidas relacionadas a um determinado processo, incluindo suas entradas e saídas”, de acordo com a definição de Duarte (2011, p. 26).

Alguns autores, entretanto, têm apontado dificuldades no uso de indicadores, uma vez que lhes faltam semântica e apresentam vaguidade e imprecisão na demonstração dos valores que se propõem a representar (BOBILLO; DELGADO, 2010; BOBILLO et al., 2009; OPOKU-ANOKYE; TANG, 2013; PITZOS; MATSAS; CHRYSSOLOURIS, 2012; SHEN; RUAN; HERMANS, 2011; TAVANA; MOUSAVI; GOLARA, 2013).

Como forma de enfrentar estes desafios, tem-se a área de Engenharia do Conhecimento que, segundo Schreiber (2008, p. 10):

[...] envolve-se com o desenvolvimento de teorias, métodos e ferramentas para o desenvolvimento de aplicações intensivas em conhecimento. Em outras palavras, fornece um guia sobre quando e como aplicar técnicas particulares de representação de conhecimento para a solução de problemas específicos.

A Engenharia do Conhecimento tem por objetivo prover sistemas capazes de explicitar e armazenar o conhecimento da organização, considerando todo o contexto sistêmico organizacional das atividades intensivas em conhecimento (SCHREIBER et al., 2002). Portanto, ela fornece todo o instrumental para a modelagem e o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento que sejam capazes de explicitar, formalizar e representar o conhecimento em atividades intensivas em conhecimento.

Algumas iniciativas têm sido levadas a efeito no sentido de reduzir a vaguidade e a imprecisão presentes em indicadores de desempenho através da agregação de diversas outras informações que possam contextualizar um determinado indicador, especialmente através do uso de ontologias (BOBILLO; DELGADO; GÓMEZ-ROMERO, 2007; 2009; DENK; GROSSMAN, 2010; FREITAS JUNIOR et al., 2015; NAVARRO-HERNANDEZ, 2006; MOLINA et al., 2004; PITZOS; MATSAS; CHRYSSOLOURIS, 2012; 2013; ROJAS; JARAMILLO, 2013; TROKANAS; CECELJA; RAAFAT, 2013).

Sem prejuízo de todos os demais aspectos que devem constar de um modelo que se proponha a representar semanticamente indicadores de desempenho, este estudo busca concentrar-se na dimensão de tempo, reconhecida como importante para a compreensão do contexto a que se refere um determinado indicador.

Especificamente quanto à esta dimensão de tempo, alguns autores (DENK; GROSSMANN, 2010; PITZOS; MATSAS; CHRYSSOLOURIS, 2012) tem reconhecido sua importância e a necessidade da inclusão do tempo na representação semântica de indicadores, contribuindo para o seu enriquecimento semântico. Ermolayev et al. (2014) afirmam que o tempo, como um fenômeno, tem sido objeto de estudo desde o início dos tempos e continua sendo objeto de estudo e pesquisa em razão, entre outros aspectos, da sua importância para a compreensão dos diversos tipos de mudança.

Por outro lado, a modelagem de tempo tem recebido atenção de pesquisadores da área de engenharia do conhecimento e inteligência artificial ao longo do tempo (BARATIS et al., 2009; BAUMANN; LOEBE; HERRE, 2012; BAUMANN; LOEBE; HERRE, 2014; CHITTARO et al., 1997; ERMOLAYEV et al., 2014; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; GOMEZ-PEREZ, 2004; FIKES; JENKINS; ZHOU, 2003; FRASINCAR; MILEA; KAYMAK, 2010; JACQUELINET et al., 2003; MA; KNIGHT; PETRIDIS, 1994; PAPADAKIS et al., 2011; SCHRAG, 2012; TUGGLE et al., 2008).

Tomando-se como ponto de partida os estudos de Fernández-López e Gomez-Perez (2004) e Ermolayev et al. (2014) que apresentaram considerações acerca das formas disponíveis na literatura para a representação de tempo através do uso de ontologias, foi possível expandir estes trabalhos a partir de uma revisão bibliométrica junto às bases *Web of Science*, *Scopus*, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* e junto aos trabalhos da *TIME Symposia Series*. Este simpósio ocupa-se, desde 1994, da publicação de estudos que buscam utilizar ontologias para a representação de tempo. Após este trabalho de revisão foi possível identificar diversos estudos disponíveis que buscam representar o tempo através de tecnologias semânticas e utilizá-los como base para a construção da presente proposta.

Desta forma, este artigo tem por objetivo a identificação dos estudos propostos pela literatura para a representação de tempo e fornecer subsídios para o reuso de aspectos ontológicos adequados para a representação de tempo no contexto de enriquecimento semântico de indicadores de desempenho.

A metodologia empregada para a definição da ontologia a ser objeto de reuso, bem como a sua adaptação é a METHONTOLOGY, que indica, especificamente quanto ao reuso, quatro fases principais: especificação das necessidades, procura por uma ontologia, adaptação da ontologia escolhida e integração com o sistema.

Assim, este artigo é organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta considerações acerca dos indicadores de desempenho e os requisitos de representação de tempo. A seção 3, por sua vez, procura detalhar os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa. A seção 4 elenca os principais métodos de representação de tempo disponíveis na literatura. Na seção 5 apresenta-se a análise e as conclusões acerca do reuso de aspectos ontológicos para a representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho, demonstrando a aplicação da metodologia definida para esta tarefa. A seção 6, por sua vez, apresenta as considerações finais, sendo seguida pela seção 7, de referências.

## **2 Indicadores de desempenho e os requisitos de tempo**

As medidas de desempenho possuem ampla aplicação junto às organizações modernas, sendo compreendidas por indicadores específicos que procuram traduzir os resultados organizacionais em números e conceitos que melhor expressem o nível de satisfação das metas e objetivos traçados pela companhia (VELIMIROVIC; VELIMIROVIC; STANKOVIC, 2011).

Estes indicadores ocupam, portanto, papel de destaque nos processos de avaliação de desempenho organizacional (OPOKU-ANOKYE; TANG, 2013). Os autores ainda ressaltam o papel dos indicadores ao afirmar que a medida de desempenho organizacional se consubstancia no desenvolvimento de indicadores mensuráveis que possam ser empregados para avaliar o progresso realizado em direção a determinado objetivo, bem como na satisfação destas metas.

Entretanto, alguns autores têm apontado dificuldades da falta de semântica nestes indicadores, bem como os desafios oriundos desta carência, gerando inclusive dificuldades para a comparação entre indicadores e resultados internamente, entre setores ou departamentos da própria organização, ou com agentes externos (BOBILLO; DELGADO, 2010; BOBILLO et al., 2009; OPOKU-ANOKYE; TANG, 2013; PITZOS; MATSAS; CHRYSSOLOURIS, 2012; SHEN; RUAN; HERMANS, 2011; TAVANA; MOUSAVI; GOLARA, 2013).

Sem prejuízo de todos os demais aspectos que devem contar de um modelo que se proponha a representar semanticamente indicadores de desempenho, este estudo busca concentrar-se na dimensão de tempo, reconhecida como importante para a compreensão do contexto a que se refere um determinado indicador.

As relações temporais na representação de indicadores são aspectos que igualmente devem ser considerados em sua representação semântica.

Em diversos domínios, autores tem reconhecido a importância do fator “tempo” na análise e representação do conhecimento. Mei e Zhai (2005), por exemplo, afirmam que no campo da ciência e de sua socialização através dos artigos científicos, o estudo de determinado assunto, em algum período de tempo, pode ter influenciado o estudo de outro assunto em época posterior, evidenciando, portanto, a importância do tempo para a análise dos fenômenos. Nesta mesma esteira, He et al. (2010) afirmam que, ao longo do tempo, a literatura científica evolui um problema importante e interessante. Ha-Thuc et al. (2009), por sua vez, ensinam que os padrões temporais são capazes de fornecer informações úteis a respeito do comportamento dos diversos tópicos no conjunto de dados. Alonso, Gertz e Baeza-Yates (2009), por fim, dizem que, na medida em que a quantidade de informação aumenta, o conceito de tempo como uma dimensão torna-se cada vez mais importante.

Parmenter (2007) contribui com a discussão especificando que indicadores chaves de resultado (KRI) medem o sucesso atingido, fornecendo informações sobre o que foi feito num determinado processo até um dado momento no tempo, evidenciando, portanto, o caráter específico do tempo na análise deste tipo de indicador, bem como sua característica de determinação do instante que o indicador representa.

Especificamente quanto à modelagem de indicadores, alguns autores já buscaram soluções para a representação do tempo. Denk e Grossmann (2010) e Pitzos, Matsas e Chryssolouris (2012) introduzem a dimensão tempo na representação semântica de indicadores proposta nos domínios estudados pelos autores, demonstrando a possibilidade e necessidade de tratar-se esta dimensão, especialmente pelo fato de que um indicador representa uma medida de desempenho em determinado momento do tempo.

A seção seguinte descreve a metodologia empregada neste trabalho para a seleção dos estudos considerados na construção de uma proposta de representação semântica de tempo no contexto dos indicadores de desempenho.

### **3 Procedimentos metodológicos**

Este trabalho toma como ponto de partida os estudos de Fernández-López e Gomez-Perez (2004) e Ermolayev et al. (2014). No primeiro, os autores apresentaram suas experiências na reutilização de ontologias de tempo em um projeto específico, analisando um grupo de ontologias implementadas em diferentes linguagens computacionais. São consideradas também, neste estudo, características de ontologias de tempo, como diferentes granularidades, fusos horários, etc. No segundo estudo, Ermolayev et al. (2014) apresentam uma revisão das ontologias de tempo baseada na *TIME International Symposium on Temporal Representation and Reasoning* com o objetivo de verificar se as propostas de representação de tempo formais desenvolvidas até o momento são suficientes para as necessidades apresentadas pelas pesquisas em Ciência

da Computação e, em particular, dentro das comunidades de Web Semântica e Inteligência Artificial.

A *TIME International Symposium on Temporal Representation and Reasoning*, utilizada por Ermolayev et al. (2014) como fonte dos estudos utilizados para a construção do referencial teórico acerca da representação semântica de tempo, é, segundo Bettini (2015), o único evento internacional anual multidisciplinar dedicado ao assunto de tempo em ciência da computação. Segundo os autores, o objetivo do simpósio é "reunir pesquisadores ativos em diferentes áreas envolvendo a representação temporal e o raciocínio".

Assim, a partir dos estudos citados, o presente trabalho foi realizado de acordo com os seguintes passos: revisão do conceito de representação de tempo apresentado pelos estudos que dão base ao presente artigo; ampliação da revisão disponibilizada; escolha de aspectos ontológicos para reuso de acordo com a metodologia METHONTOLOGY; e, apresentação da proposta definida para representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho.

A revisão bibliométrica levada a efeito<sup>1</sup> considerou o conceito de *time point*, empregando a *string* de busca "(ontology) AND ("time point") AND (representation)" junto às bases *Web of Science*, *Scopus* e *IEEE*, sem restrição de data e incluindo a maior quantidade de campos de pesquisa possível em cada uma das buscas, visando incluir a maior quantidade de estudos disponíveis nas bases.

O conceito de "*time point*" foi escolhido como critério para a revisão bibliométrica em razão de melhor representar as necessidades de representação de tempo no contexto dos indicadores de desempenho, como demonstrado na seção 4.

Por outro lado, foram consultados também os estudos da *TIME International Symposium on Temporal Representation and Reasoning* nos anos de 2014 e 2015, em razão da expressividade desta base para os estudos de representação de tempo, e expandindo-se a revisão realizada por Ermolayev et al. (2014).

Os critérios definidos para a inclusão de estudos na presente revisão foram: disponibilidade do texto completo de forma gratuita e abordagem clara do conceito de *time point* no escopo do trabalho. Para isto, obedeceu-se às seguintes etapas: (i) coleta dos estudos nas bases escolhidas, (ii) exclusão de estudos repetidos, (iii) extração de dados bibliométricos, (iv) seleção dos estudos que atendam aos critérios de inclusão definidos e, por fim, (v) a análise e descrição destes trabalhos.

Após a realização da primeira etapa, de coleta de estudos nas bases escolhidas, observou-se a quantidade determinada no Tabela 1:

Tabela 1 – Quantidade de estudos recuperados

BASE	QUANTIDADE DE ESTUDOS
Web of Science	05
Scopus	21
IEEE	02

<sup>1</sup> Busca realizada em 21 set. 2015.

Time Symposium	07
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

Foram excluídos seis trabalhos repetidos na etapa 2, restando 29 trabalhos dos quais foram extraídos os dados bibliométricos.

Estes 29 estudos foram escritos por 79 autores diferentes, que por sua vez, elencaram 340 palavras-chaves, dentre as quais destacam-se "ontology" e "time". Os estudos identificados foram escritos entre os anos de 1994 e 2014, entretanto, os dois últimos anos da amostra compreendem quase a metade dos trabalhos selecionados, com 14 estudos.

Após a análise dos textos completos prevista na etapa 3, outros 16 trabalhos foram desconsiderados, por não estarem diretamente relacionados com o ponto de interesse deste estudo. Os artigos versavam, em sua maioria, com o uso da *Gene Ontology* para a representação de eventos médicos ou biológicos, analisados a partir de determinados pontos específicos de tempo.

Assim, a etapa 4 contou com o número de 13 estudos, que serão abordados na seção seguinte, expandindo-se as revisões apresentadas por Fernández-López e Gomez-Perez (2004) e Ermolayev et al. (2014).

## 4 Ontologias para representação de tempo

Diante dos desafios apresentados pela literatura no que se refere à representação semântica de indicadores, a área de engenharia do conhecimento dispõe de um conjunto de técnicas e métodos capazes de contribuir com este propósito. Dentre estas técnicas destacamos as ontologias.

Uma ontologia pode ser definida como sendo um conjunto de termos ordenados hierarquicamente para representar um domínio específico. Ela pode ser usada como um esqueleto para uma base de conhecimento onde são executados processos de inferência (raciocínio). O uso de uma ontologia permite então, a definição de um domínio no qual será possível trabalhar em determinada área específica, possibilitando a melhora no processo de extração de informação e o intercâmbio do conhecimento (GÓMEZ-PÉREZ, 1999).

Uma definição amplamente aceita por engenheiros de ontologias (GOBIN, 2012) é de autoria de Gruber (1993), ao afirmar que uma ontologia é uma especificação explícita de uma conceitualização. Conceitualização é um modelo abstrato do mundo que se quer representar e essa representação tem de ser explícita com especificação dos conceitos, propriedades e relações. Borst (1997) modificou essa definição, afirmando que uma ontologia é uma especificação formal de uma conceitualização compartilhada. Assim enfatizou que deve existir um modelo na especificação da ontologia e que a conceitualização deve ser feita de tal maneira a permitir o seu compartilhamento. O conhecimento expresso deve ser do senso comum e não particular a quem está

escrevendo. Studer, Benjamins e Fensel (1998) complementam a definição asseverando que uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada, retomando o fato da especificação ser explícita.

Para Gobin (2012), esta definição baseia-se na ideia da conceitualização, isto é, uma versão simplificada do mundo real que se deseja representar, fornecendo uma visão comum e compartilhada de um domínio, que pode ser comunicada entre pessoas e sistemas.

Para Dillon e Simmons (2008), as ontologias compartilham uma compreensão comum acerca da estrutura da informação entre pessoas ou agentes de software, mas não apenas isto, elas também possibilitam a reutilização do conhecimento de determinado domínio, explicitam as suposições deste domínio, separam o conhecimento de domínio do conhecimento operacional, além de permitirem a análise do conhecimento de domínio. A engenharia de ontologias, por sua vez, é definida pelos mesmos autores como um processo altamente colaborativo, posto que uma ontologia desenvolvida com toda precisão pouco serve se não for aceita pelos especialistas de domínio, que devem participar diretamente de seu desenvolvimento.

Bobillo et al. (2009) afirmam que as ontologias permitem o enriquecimento de dados com semântica, possibilitando a verificação automática da consistência dos dados, além de permitir que de forma facilitada a manutenção da base de conhecimento e a reutilização dos componentes.

Assim, admitindo-se as ontologias como ferramentas para a representação computacional do conhecimento específico de um domínio, atribuindo-lhe significado, tem-se que as ontologias podem ser empregadas para fornecer semântica à modelagem de indicadores.

Especificamente no que se refere a ontologias para representação temporal, Fernández-López e Gómez-Pérez (2004) afirmam que existem diversos modelos ontológicos que se propõem a realizar esta representação, assim, para facilitar a compreensão destas diversas metodologias os autores fazem considerações acerca das formas como o tempo pode ser expresso.

São 16 as classificações apresentadas pelos autores:

- a) pontos no tempo: são momentos específicos ocorridos em um determinado ponto no tempo (03/09/2015, 11h04, GMT);
- b) intervalos de tempo: momentos compreendidos entre dois pontos no tempo (de 03/09/2015 a 10/09/2015);
- c) tempo absoluto e tempo relativo: o tempo pode ser representado de forma absoluta quando um ponto no tempo é associado a um fato (1789 foi o início da Revolução Francesa), ou, por outro lado, de forma relativa, quando um fato no tempo é associado a outro fato (Revolução Russa ocorreu depois da Revolução Francesa);

- d) relações entre intervalos de tempo: um determinado período de tempo "A" pode estar incluído em outro período "B", ter ocorrido posteriormente ao período "B" ou ter pontos de interseção. De acordo com Fernández-López e Gómez-Pérez (2004), Allen (1983, 1984) apresentou teoria bastante consolidada sobre as relações entre os intervalos de tempo;
- e) intervalos de tempo convexos e não convexos: são considerados intervalos não convexos aqueles períodos de tempo em que há uma interrupção inclusa (todas as quartas-feiras). Convexos, por sua vez, são aqueles intervalos sem interrupção (01/01/2015 a 10/01/2015);
- f) intervalos abertos e fechados: trata-se dos períodos de tempo em que o ponto final do intervalo está ou não incluso neste intervalo;
- g) modelagem explícita de intervalos adequados: um determinado intervalo é considerado adequado quando o ponto inicial e o ponto final são diferentes;
- h) modelagem de concatenação de intervalos: é a representação da obtenção de um grande intervalo a partir da união de pequenos intervalos;
- i) modelagem da ligação de outros tipos de conceitos com os conceitos de tempo: os autores exemplificam esta categoria pela relação que se pode fazer de um evento ocorrido com o ponto no tempo de sua ocorrência;
- j) modelagens de padrões de calendário e relógio: representação de dias, meses, anos, horas, minutos, segundos, fuso horário e outros aspectos relacionados especificamente com calendários e relógio;
- k) modelagem de diferentes granularidades de tempo: especifica a representação das diferentes granularidades de tempo, especialmente para a conversão de uma unidade para outra. Os autores reconhecem que esta pode ser uma situação trivial, entretanto com algumas exceções, como por exemplo, a conversão de um período de tempo em dias úteis;
- l) ordenação total: modelagem de pressuposto que considera que, para dois intervalos de tempo, um sempre será maior que o outro;
- m) infinito: modelagem de intervalos de tempo que não são limitados ou pelo seu ponto de início ou seu ponto de fim;

- n) densidade: modelagem para representar a existência de um terceiro intervalo de tempo existente entre dois outros intervalos;
- o) isomorfismo para números reais: algumas metodologias empregam o conjunto de números reais para a representação de tempo, mas para Fernández-López e Gómez-Pérez (2004), isto implica na aceitação total das teorias de densidade, convexidade e ordenação total, e implica também a aceitação que não há um ponto no infinito;
- p) uso de axiomas: as metodologias para modelagem de tempo distinguem as ontologias entre aqueles que usam e as que não usam axiomas. Seriam as ontologias *lightweight* e *heavyweight*. As ontologias *lightweight* incluem conceitos, taxonomias e relacionamentos entre os conceitos, propriedades que descrevem os conceitos. Por sua vez, as ontologias *heavyweight* incluem axiomas que procuram explicitar o significado dos termos da ontologia, permitindo raciocínios complexos.

Neste mesmo sentido, Ermolayev et al. (2014) ensinam que existem diversas facetas do tempo que devem ser analisadas quando o objetivo é ordenar uma teoria para a sua representação: limitação, anisotropia, particionamento, estruturação, densidade, ordenação, incerteza temporal e periodicidade de tempo.

Entretanto, os autores apresentam ênfase a dois elementos que compõem os conceitos para a descrição do tempo: elementos temporais (*TemporalElements*) e estruturas temporais (*TemporalStructures*). Eles podem ser pontos de tempo, estruturas temporais baseadas em pontos de tempo, segmentos e intervalos temporais, estruturas temporais baseadas em intervalos e sistemas de calendário.

Um elemento temporal, no contexto das teorias de tempo, são os pontos de tempo (*TimePoints*) e intervalos de tempo (*TimeIntervals*). Uma estrutura temporal, por sua vez, é composta por uma estrutura temporal e um elemento temporal, com um objetivo definido. Um calendário (*Calendar*) pode ser especificado como um exemplo de uma estrutura temporal.

Ermolayev et al. (2014) afirmam ainda que o tempo possui algumas características a serem consideradas. São elas: granularidade e escala de tempo, duração e distância temporal, datas e *time stamps*.

Este estudo possui especial interesse pelos pontos ou instantes de tempo (*TimePoints*) que parecem melhor atender as características da representação de tempo no âmbito da representação semântica de indicadores de desempenho.

Os pontos de tempo (*TimePoints*) são também conhecidos como “instantes” e podem ser considerados elementos de uma linha de tempo. Ermolayev et al. (2008a) afirma que um determinado instante  $t$  não

possui duração e o seu valor reflete a sua posição específica na linha do tempo, podendo referir-se ao momento atual, um momento predefinido, um ponto de sincronização ou um ponto limite.

O conceito de pontos de tempo na literatura específica não é novo. Allen (1984) já sugeria que as datas e horas são eventos específicos que conseguem representá-lo. As datas, para Allen (1984), são representadas por triplas ordenadas de inteiros, com o objetivo de representar o ano, mês (1-12) e o dia (1-31). Ermolayev (2008a) afirma que uma data é uma ocorrência específica na linha do tempo a ser representada por uma granularidade própria (dia, mês e ano).

Assim, temos que, diante da grande quantidade de estudos que buscam representar semanticamente o tempo, sistematizados por Fernández-López e Gómez-Pérez (2004) e Ermolayev et al. (2014), a teoria de ponto de tempo nos chama especial atenção em razão de melhor atender as necessidades deste estudo.

Diversos trabalhos, igualmente, procuram implementar os conceitos de tempo especificados na literatura, tais como Cyc Time (LENAT, 1995), *Suggested Upper Merged Ontology* (SUMO) (NILES; PEASE, 2001a; 2001b), *Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering* (DOLCE) (MASOLO et al., 2003), *Basic Formal Ontology* (BFO) (MASOLO et al., 2003), *General Formal Ontology* (GFO) (BAUMANN et al., 2012), *PSI Upper-Level Ontology* (PSI-ULO) (ERMOLAYEV, 2008c; 2009), *OWL-Time* (HOBBS; PAN, 2004), *TimeLine Ontology* (RAIMOND; ABDALLAH, 2007), *Reusable Time Ontology* (ZHOU; FIKES, 2002), *PSI-Time Ontology* (ERMOLAYEV et al., 2008a; 2009), *AKT Time Ontology* (MACNEILL, 2015), *SWRL Temporal Ontology* (O'CONNOR; DAS, 2010), *SOWL Ontology* (BATSAKIS; STRAVOSKOUFOS; PETRAKIS, 2011).

Dentre estes estudos, alguns deles se destacam para o escopo deste artigo em razão de claramente oferecerem alternativas para a representação de pontos de tempo (*TimePoints*).

*Suggested Upper Merged Ontology* (SUMO), proposta por Niles e Pease (2001), é uma ontologia de tempo organizada através de uma hierarquia de módulos, começando com uma ontologia estrutural, depois uma ontologia que especifica os aspectos temporais. Esta proposta considera os pontos de tempo e intervalos de tempo como uma posição no tempo. A ontologia ocupa-se também de definir anos, meses, dias e minutos.

Masolo et al. (2003) apresentaram a *Basic Formal Ontology* (BFO). Parte da *WonderWeb Library of Foundational Ontologies*, a BFO considera o tempo como uma entidade, onde um instante de tempo é considerado como uma região temporal onde os limites estão aproximados ou fortemente conectados.

*General Formal Ontology* (GFO), proposta por Baumann et al. (2012), apresenta o tempo como fenômenos abstratos, dividindo-os em intervalos, chamados *chronoids*, e limites de tempo, chamados pontos de tempo.

Hobbs e Pan (2004) demonstram a *OWL-Time*, que foi desenvolvida para a descrição de conceitos temporais em páginas web e propriedades

temporais de *web services*. O tempo é descrito como duas subclasses do conceito de *TemporalEntity*, chamadas de *Instant* e *Interval*. Um intervalo (*interval*) é considerado como um determinado aspecto de tempo com o que os autores chamaram de pontos interiores, isto é, instantes de início e fim. O instante (*instant*), por sua vez, denota um ponto no tempo que não tenha pontos interiores, ou que os pontos de início e fim sejam os mesmos. A representação de duração se dá através dos argumentos: anos, meses, semanas, dias, horas, minutos e segundos. Os instantes de tempo podem ser representados pelas propriedades *unitType*, *year*, *month*, *week*, *day*, *dayOfWeek*, *dayOfYear*, *hour*, *minute*, *second* e *timeZone*.

*TimeLine Ontology*, proposta por Raimond e Abdallah (2007), é voltada ao domínio de música digital, mas de todo modo demonstra a representação de um instante de tempo, que em sua proposta se dá no que os autores chamam de *timeline*. Neste domínio especificado, os valores de instantes de tempo podem ser representados com diferentes granularidades, usando as propriedades *atYear*, *atMonth* e *atDateTime*.

Zhou e Fikes (2002) apresentam a *Reusable Time Ontology*. Esta ontologia assume que o tempo é contínuo e linear, e divide-o em *Time-Point* e *Time-Interval*. *Time-Point* é especificado como uma classe de pontos de tempo para a representação de momentos ou instantes de tempo. *Time-Interval*, por sua vez, é a classe de um conjunto de dois ou mais pontos de tempo para representar períodos temporais ou extensões temporais. Nesta ontologia, a granularidade é definida apenas para o contexto do *Time-Point*, tendo sido reutilizado os conceitos de física quântica para o tempo da *Ontolingua Library*. Este conceito prevê uma classe chamada *Time-Quantity* para especificar uma quantidade de tempo que é representada por números reais e uma unidade de tempo. Diversas funções são definidas para corresponder à esta necessidade: *Year-Of*, *Month-Of*, *Day-Of*, *Week-Day-Of*, *Hour-Of*, *Minute-Of* e *Second-Of*.

*PSI-Time Ontology* é apresentada por Ermolayev et al. (2008a) e tem como conceito central o que os autores chamam de *TimeInstant*, que modela um ponto específico de tempo. Os valores de *TimeInstant* são do tipo *DateTime*, isto é, correspondendo exatamente ao padrão de datas e horas fornecido pela linguagem OWL.

MacNeill (2015) propõe a *AKT Time Ontology* como parte de uma iniciativa maior denominada *AKT Support Ontology*. O conceito principal desta ontologia é o de *time-entity*, como uma algo intangível. Este conceito se desdobra em dois, *time-intervals* e *time-points*. O conceito de *time-entity* é composto por um conjunto de propriedades que procuram expressar o tempo em diferentes granularidades, tais como *year-of*, *month-of*, *day-of*, *hour-of*, *minute-of* e *second-of*. Como forma de representar um ponto de tempo, a ontologia conta com o conceito de *calendar-date*, como uma especialização do conceito de *time-point*, com as propriedades de *year-of*, *month-of* e *day-of*.

Por fim, a ontologia *SWRL Temporal Ontology*, proposta por O'Connor e Das (2011), apresenta um modelo de representação temporal baseado em OWL. A granularidade especificada nesta ontologia se dá a

partir da classe *granularity*, com as instâncias *years, months, days, hours, minutes, seconds* e *milliseconds*.

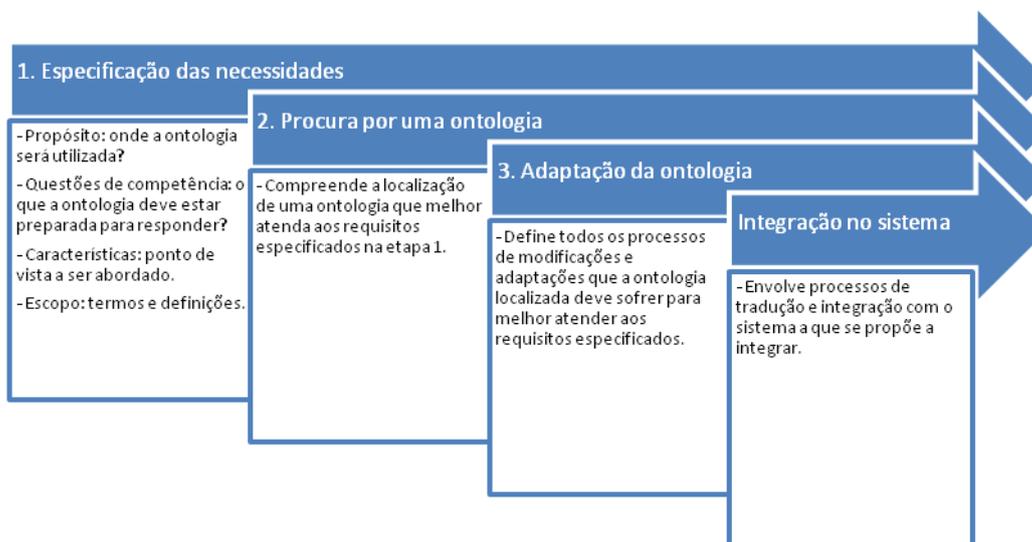
Outras propostas de ontologias para a representação de tempo que levassem em consideração a representação de instantes ou pontos de tempo não foram localizadas nas bases pesquisadas. Tampouco foram desconsiderados nesta descrição outros aspectos relacionados com a finitude de tempo, representação de intervalos de tempo e todas as demais características típicas da representação ontológica do tempo, em razão dos objetivos propostos para este trabalho.

A seção a seguir procura aplicar uma metodologia para a definição da ontologia a ser objeto de reuso, bem como adapta-la aos propósitos especificados no escopo deste artigo.

## 5 Reuso de ontologia para representação de tempo em indicadores de desempenho

A metodologia METHONTOLOGY (FERNANDEZ-LÓPEZ; GÓMEZ-PÉREZ; JURISTO, 1997) mostrou-se ao longo do tempo bastante eficaz como guia no processo de reuso de aspectos ontológicos, como demonstrado por Fernandez-López e Gómez-Pérez (2004). De acordo com esta metodologia, a definição de quais ontologias poderão ser reutilizadas em um projeto deve ser pautada por quatro passos básicos, conforme demonstrado pela Figura 1.

Figura 1 – Metodologia para reuso de aspectos ontológicos



Fonte: Adaptado de FERNANDEZ-LÓPEZ; GÓMEZ-PÉREZ (2004).

Neste caso específico, apresentamos os requisitos determinados pela etapa 1 da metodologia proposta, qual seja, a de especificação das necessidades que a ontologia deve satisfazer na nova aplicação através do Quadro 1:

Quadro 1 – Etapa 1 da metodologia METHONTOLOGY

---

METHONTOLOGY – Etapa 1

---

Especificação das necessidades	
ITEM	DEFINIÇÃO
Propósito	Ontologia para representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho.
Linguagem	Português e Inglês.
Questões de competência	A que ponto no tempo um indicador de desempenho se refere?
Características	A ontologia deve representar pontos específicos no tempo, utilizando diferentes granularidades de datas e horas para este propósito.
Escopo	Ano, mês, dia, dia da semana, hora, minuto, segundo, milissegundos, fuso horário.

Fonte: Dados da pesquisa.

Passamos então a analisar as opções disponíveis e selecionadas por ocasião da revisão de literatura, representadas pelo Quadro 2, que define a segunda etapa da metodologia empregada:

Quadro 2 – Etapa 2 da metodologia METHONTOLOGY

METHONTOLOGY – Etapa 2	
Procura por uma ontologia a ser reutilizada	
ONTOLOGIAS	CARACTERÍSTICAS
SUMO (NILES; PEASE, 2001)	Pontos de tempo como posição no tempo. A ontologia define anos, meses, dias e minutos.
BFO (MASOLO et al., 2003)	Tempo como uma entidade, onde um instante de tempo é considerado como uma região temporal onde os limites estão aproximados ou fortemente conectados.
GFO (BAUMANN et al., 2012)	Tempo como fenômenos abstratos, dividindo-os em intervalos, chamados <i>chronoids</i> , e limites de tempo, chamados pontos de tempo.
OWL-Time (HOBBS; PAN, 2004)	A representação de duração se dá através dos argumentos: anos, meses, semanas, dias, horas, minutos e segundos. Os instantes de tempo podem ser representados pelas propriedades <i>unitType</i> , <i>year</i> , <i>month</i> , <i>week</i> , <i>day</i> , <i>dayOfWeek</i> , <i>dayOfYear</i> , <i>hour</i> , <i>minute</i> , <i>second</i> e <i>timeZone</i> .
<i>TimeLine Ontology</i> (RAIMOND; ABDALLAH, 2007)	Valores de instantes de tempo podem ser representados com diferentes granularidades, usando as propriedades <i>atYear</i> , <i>atMonth</i> e <i>atDateTime</i> .
<i>Reusable Time Ontology</i> (ZHOU; FIKES, 2002)	Prevê uma classe chamada <i>Time-Quantity</i> para especificar uma quantidade de tempo que é representada por números reais e uma unidade de tempo. Diversas funções são definidas para corresponder à esta necessidade: <i>Year-Of</i> , <i>Month-Of</i> , <i>Day-Of</i> , <i>Week-Day-Of</i> , <i>Hour-Of</i> , <i>Minute-Of</i> e <i>Second-Of</i> .
<i>PSI-Time Ontology</i> (ERMOLAYEV et al., 2008a)	<i>TimeInstant</i> , que modela um ponto específico de tempo. Os valores de <i>TimeInstant</i> são do tipo <i>DateTime</i> , isto é, correspondendo exatamente ao padrão de datas e horas fornecido pela linguagem OWL.
<i>AKT Time Ontology</i> (MACNEILL, 2015)	Composta por um conjunto de propriedades que procuram expressar o tempo em diferentes granularidades, tais como <i>year-of</i> , <i>month-of</i> , <i>day-of</i> , <i>hour-of</i> , <i>minute-of</i> e <i>second-of</i> . Como forma de representar um ponto de tempo, a ontologia conta com o conceito de <i>calendar-date</i> , como uma especialização do conceito de <i>time-point</i> , com as propriedades de <i>year-of</i> , <i>month-of</i> e <i>day-of</i> .
<i>SWRL Temporal Ontology</i> (O'CONNOR; DAS, 2011)	A granularidade especificada nesta ontologia se dá a partir da classe <i>granularity</i> , com as instâncias <i>years</i> , <i>months</i> , <i>days</i> , <i>hours</i> , <i>minutes</i> , <i>seconds</i> e <i>milliseconds</i> .

Fonte: Dados da pesquisa.

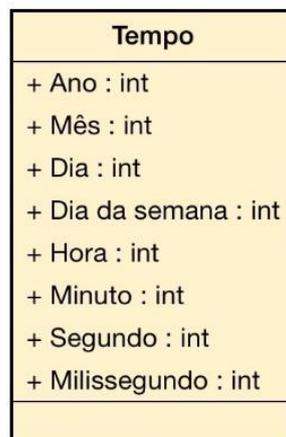
O conceito de ponto ou instante de tempo, amplamente demonstrado nos estudos selecionados, é nossa opção para a representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho, uma vez que, de acordo com a literatura específica, um indicador de desempenho representa principalmente um momento determinado no tempo (PARMENTER, 2007).

Entretanto, alguns autores (ERMOLAYEV et al., 2008a; HOBBS; PAN, 2004) têm apontado que estes pontos de tempo podem ser representados pela propriedade *date-time* da linguagem OWL que, por sua vez, compreende ano, mês, dia, hora, minuto, segundo e fuso horário (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM - W3C, 2012).

Após a análise da literatura considerada, podemos afirmar a necessidade de outras granularidades na representação de tempo de indicadores de desempenho, tais como dia da semana e milissegundo. Estas duas abordagens ampliariam as possibilidades de representação de instantes de tempo, desde os mais genéricos e abrangentes até os mais específicos.

Desta forma, nossa opção para a representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho recai sobre a SWRL *Temporal Ontology* (O'CONNOR; DAS, 2011), em razão de contemplar a maior parte das granularidades possíveis para um instante de tempo, acrescentando-se o dia da semana. A Figura 2 demonstra a classe de tempo, modelada em UML de acordo com os pressupostos apresentados.

Figura 2 – Classe tempo



Fonte: Adaptada de O'CONNOR; DAS (2011).

A representação apresentada na Figura 2 e fortemente inspirada no esquema de granularidades previsto na SWRL *Temporal Ontology*, aparentemente demonstra-se adequada para a representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho, especialmente a partir do princípio de representação de instante ou ponto de tempo. Esta modelagem desconsidera intervalos de tempo, em razão da necessidade especificada na etapa 1 da metodologia, demonstrando-se simples e de fácil compreensão.

Estas modificações realizadas no modelo selecionado representam a etapa 3 da metodologia para reuso de ontologias escolhido, uma vez que foram realizadas as adaptações necessárias para a melhor satisfação dos objetivos delimitados. A etapa 4, por sua vez, também pode ser considerada implementada, uma vez que houve a tradução dos termos da ontologia para o idioma português, que figurava como uma das necessidades do planejamento realizado.

## 6 Conclusões

Este trabalho procurou analisar as ontologias de representação de tempo disponíveis na literatura destacando especialmente aquelas que apresentassem claramente os métodos para representação de pontos ou instantes de tempo, considerados como importantes para a representação do tempo no contexto de indicadores de desempenho.

Esta análise teve por objetivo a seleção de aspectos ontológicos para a sua reutilização no contexto dos indicadores de desempenho, uma vez que são diversas as ontologias disponíveis na literatura que se propõem a realizar esta representação.

A metodologia METHONTOLOGY foi utilizada para todo o processo de escolha, análise e reuso da ontologia, permitindo a definição dos requisitos, a análise das opções disponíveis na literatura, a seleção e a adaptação da ontologia para os fins determinados.

Após o processo de análise, optou-se pela SWRL *Temporal Ontology*, uma vez que ela especifica a maior quantidade possível de granularidades que interessavam aos propósitos de representação de tempo no contexto de indicadores de desempenho. Por outro lado, identificou-se a necessidade de incluir o dia da semana como uma nova alternativa, para ampliar as possibilidades de granularidades disponíveis, contemplando-se assim todos os aspectos de representação para o ponto ou instante de tempo.

Entre as principais contribuições desta pesquisa, podemos citar a demonstração do uso de uma metodologia para a seleção e reuso de aspectos ontológicos, o reuso de uma ontologia de tempo no contexto de indicadores de desempenho bem como a seleção de ontologias disponíveis privilegiando-se os aspectos de instantes ou pontos de tempo.

## Referências

- ALLEN, J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM*, v. 26, n. 11, p. 832-843, 1983.
- ALLEN, J. F. Towards a general theory of actions and time. *Artificial Intelligence*, v. 23, p. 123-154, 1984.
- ALONSO, O.; GERTZ, M.; BAEZA-YATES, R. Clustering and exploring search results using timeline constructions. In: ACM CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 18., 2009, Nova York. *Proceedings...* Nova York: ACM, 2009. p. 97-106.
- BARATIS, E. et al. TOQL: Temporal ontology querying language. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL AND TEMPORAL DATABASE, 11., 2009, Aalborg. *Proceedings...* LNCS, 2009. p. 338-354.
- BATSAKIS, S.; STRAVOSKOUFOS, K.; PETRAKIS, E. G. M. Temporal reasoning for supporting temporal queries in OWL 2.0. In: INT'L CONF. ON KNOWLEDGE-BASED AND INTELLIGENT INFORMATION AND ENGINEERING SYSTEMS, 15., 2011, Kaiserslautern. *Proceedings...* 2011. p. 558-567.

BAUMANN, R.; LOEBE, F., HERRE H. Ontology of time in GFO. In: INT'L CONF. ON FORMAL ONTOLOGIES AND INFORMATION SYSTEMS, 7., 2012, Graz, Áustria. *Proceedings...* 2012. p. 293-306.

BAUMANN, R.; LOEBE, F.; HERRE, H. Axiomatic theories of the ontology of time in GFO. *Applied Ontology*, v. 9, n. 3-4, p. 171-215, 2014.

BETTINI, C. *TIME International Symposium on Temporal Representation and Reasoning*. 2015. Disponível em: <[http://time.di.unimi.it/TIME\\_Home.html](http://time.di.unimi.it/TIME_Home.html)>. Acesso em: 21 set. 2015.

BOBILLO, F.; DELGADO, M. Tractability of the crisp representations of tractable fuzzy description logics. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON UNCERTAINTY REASONING FOR THE SEMANTIC WEB, 6., 2010, Shangai, China. *Proceedings...* 2010. p. 109-112.

BOBILLO, F.; DELGADO, M.; GÓMEZ-ROMERO, J. Introducing Semantics and Vagueness in a Balanced Scorecard. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE INTELIGENCIA COMPUTACIONAL, 2007, Bogotá, Colômbia. *Proceedings...* 2007, p. 97-102.

BOBILLO, F. et al. A semantic fuzzy expert system for a fuzzy balanced scorecard. *Expert Systems Application*, v. 36, n. 1, p. 423-433, 2009.

BORST, W. N. *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse*. 1997. 243f. Tese (Doutorado em Telemática e Tecnologia da Informação) – Universidade de Twente, Enschede, Holanda, 1997.

CHITTARO, L. et al. Specifying and representing temporal abstractions on clinical data by a query language based on the event calculus. *Computers in Cardiology*, v. 24, n. 1, p. 633-636, 1997.

DENK, M.; GROSSMANN, W. Semantic decomposition of indicators and corresponding measurement units. In: KSEM 2010, 2010, Belfast. *Proceedings...* Springer, 2010. v. 6291, p. 603-608.

DILLON, T. S.; SIMMONS, G. Semantic web support for open-source software development. In: SIGNAL IMAGE TECHNOLOGY AND INTERNET BASED SYSTEMS, 2008, Piscataway, NJ, USA. *Proceedings...* IEEE, 2008. p. 606-613.

DUARTE, C. M. M. *Desenvolvimento de um sistema de indicadores para benchmarking em empresas de construção civil*. 2011. 203f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

ERMOLAYEV, V. et al. Ontologies of time: review and trends. *International Journal of Computer Science and Applications*, v. 11, n. 3, p. 57-115, 2014.

ERMOLAYEV, V.; KEBERLE, N.; MATZKE, W.-E. An ontology of environments, events, and happenings. In: IEEE ANNUAL INT'L COMPUTER SOFTWARE AND APPLICATIONS CONF, 31., 2008, Los Alamitos. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE, 2008a. p. 539-546.

ERMOLAYEV, V.; KEBERLE, N.; MATZKE, W.-E. An upper-level ontological model for engineering design performance domain. In: INT'L CONF. ON CONCEPTUAL MODELING, 27., 2008b, Barcelona, Espanha. *Proceedings...* Springer, 2008. p. 98-113.

ERMOLAYEV, V. et al. Fuzzy time intervals for simulating actions. In: INT'L. UNITED INFORMATION SYSTEMS CONFERENCE, 2., 2008, Klagenfurt, Alemanha. *Proceedings...* Springer, 2008c. p. 429-444.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ M.; GÓMEZ-PÉREZ A.; JURISTO, N. METHONTOLOGY: From ontological art towards ontological engineering. In: AAAI-97 SPRING SYMPOSIUM SERIES, 1997, Standford University, California. *Proceedings...*1997. p 33-40.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A. Searching for a time ontology for semantic web applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS, 3., 2004, Turin, Itália. *Proceedings...* IOS Press, 2004. p. 331-341.

FIKES, R.; JENKINS, J.; ZHOU, Q. Including domain-specific reasoners with reusable ontologies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE ENGINEERING, 2003, Las Vegas, Nevada, EUA. *Proceedings...* 2003. p. 262-268.

FRASINCAR, F.; MILEA, V.; KAYMAK, U. TOWL: Integrating time in OWL. In: DE VIRGILIO, R. et al. (Org.). *Semantic web information management: a model-based perspective*. Rotterdam: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. p. 225-246.

FREITAS JUNIOR, V. et al. Semantic representation for comparison of performance measurement indicators. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTIC WEB BUSINESS AND INNOVATION, 2015, Sierre/Siders, Suíça. *Proceedings...* 2015. p. 35-43.

GOBIN, B. A. Reusing OWL-S to model knowledge intensive tasks performed by Knowledge Based Systems. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON ICT AND KNOWLEDGE ENGINEERING, 2012, Bangkok, Tailândia. *Procedings...* IEEE, 2012. p. 34-42.

GÓMEZ-PÉREZ, A. Ontological engineering: a state of the art. *British Computer Society*, Londres, Inglaterra, v. 2, p. 33-43, 1999.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specification. *Knowledge Acquisition*, v. 52, n. 6, p. 1111-1133, 1993.

HA-THUC, V. et al. Event intensity tracking in weblog collections. In: INTERNATIONAL AAAI CONFERENCE ON WEBLOGS AND SOCIAL MEDIA DATA CHALLENGE WORKSHOP, 3., 2009, San Jose, Califórnia, USA. *Proceedings...* 2009.

HE, R. et al. Cascaded regression analysis based temporal multi-document summarization. *Informatica: An International Journal of Computing and Informatics*, Slovenia, v. 34, n. 1, p. 119-124, 2010.

HOBBS, J. R.; PAN, F. An ontology of time for the semantic web. *ACM Transactions on Asian Language Processing (TALIP): Special issue on Temporal Information Processing*, v. 3, n. 1, p. 66-85, 2004.

JACQUELINET, C. et al. Developing the ontological foundations of a terminological system for end-stage diseases, organ failure, dialysis and transplantation. *International Journal of Medical Informatics*, v. 70, n. 2-3, p. 317-328, 2003.

JIN, Z. et al. Practical framework for measuring performance of international construction firms. *Journal of Construction Engineering and Management*, n. 139, p. 1154-1167, 2013.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The balanced scorecard: measures that drive performance. *Harvard Business Review*, Boston, MA, USA, v. 70, n. 1, p. 71-79, 1992.

LENAT, D. B. CYC: a large-scale investment in knowledge infrastructure. *Communications of the ACM*, v. 38, n. 11, p. 33-38, 1995.

MA, J.; KNIGHT, B.; PETRIDIS, M. Revised theory of action and time based on intervals and points. *Computer Journal*, v. 37, n. 10, p. 847-857, 1994.

MACNEILL, F. AKT time ontology. 2015. Disponível em: <<http://dream.inf.ed.ac.uk/projects/dor/akt/akt.html>>. Acesso em: 9 set. 2015.

MASOLO, C. et al. *WonderWeb Deliverable D18 Ontology Library*. 2003. Disponível em: <<http://wonderweb.man.ac.uk/deliverables/documents/D18.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

MEI, Q.; ZHAI, C. Discovering evolutionary theme patterns from text: an exploration of temporal text mining. In: ACM SIGKDD INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATA MINING, 11., 2005, Chicago, IL, USA. *Proceedings...* Nova York, NY, USA: ACM, 2005. p. 198-207.

MOLINA, H. et al. Semantic capabilities for the metrics and indicators cataloging web system. In: MATERA, M., COMAI, S. (Ed.). *Engineering advanced web applications. Proceedings...* Nova York, NY, USA: Rinton Press, 2004. p. 97-109, 2004.

NAVARRO-HERNANDEZ, R. F. et al. An ontological model to support the implementation of balanced scorecard in the organizations. In: WORLD MULTICONFERENCE ON SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS, 10., 2006, Orlando, FL, USA. *Proceedings...* Orlando, FL, USA, 2006. v. 6, p. 324-328.

NEELY, A. *Business performance measurement: theory and practice*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2002.

NILES, I.; PEASE, A. Towards a standard upper ontology. In: INT'L CONF. ON FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS, 2001, Ogunquit, Maine, USA. *Proceedings...* New York: ACM, 2001. p. 2-9.

NILES, I.; PEASE, A. Origins of the IEEE Standard Upper Ontology. *Working Notes of the IJCAI-2001 Workshop on the IEEE Standard Upper Ontology*, p. 37-42, 2001b.

O'CONNOR, M. J.; DAS, A. K. A method for representing and querying temporal information in OWL. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, 2010, Valência, Espanha. *Proceedings...* Springer, 2010. p. 97-110.

OPOKU-ANOKYE, S.; TANG, Y. The design of a semantic-oriented organisational performance measurement system. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS AND SEMIOTICS IN ORGANISATION, 14., 2013, Stockholm, Sweden. *Proceedings...* 2013. p. 45-49.

PAPADAKIS, N. et al. PROTON: a prolog reasoner for temporal ontologies in OWL. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 12, p. 14660-14667, 2011.

PARMENTER, D. *Key performance indicators: developing, implementing, and using winning KPIs*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.

PITZOS, G.; MATSAS, M.; CHRYSOLOURIS, G. Defining manufacturing performance indicators using semantic ontology representation. *Procedia CIRP*, v. 3, p. 8-13, 2012.

PITZOS, G.; MATSAS, M.; CHRYSOLOURIS, G. Production data handling using a manufacturing indicators knowledge model. *Procedia CIRP*, v. 7, p. 199-204, 2013.

RAIMOND, Y.; ABDALLAH, S. The timeline ontology. In: REICHENBACH, H. *The direction of time*. Berkeley, CA: University of California Press, 2007.

ROJAS, L. F. C.; JARAMILLO, C. M. Executable pre-conceptual schemas for representing key performance indicators. In: COMPUTING COLOMBIAN CONFERENCE (8CCC), 8., 2013, Bogotá, Colômbia. *Proceedings...* 2013. p. 21-23.

SCHEREIBER, G. Knowledge engineering. In: HARMELEN, F. V.; LIFSCHITZ, V.; PORTER, B. (Org.). *Handbook of knowledge representation (foundations of artificial intelligence)*. San Diego: Elsevier Science, 2008. p. 929-946.

SCHRAG, R. C. Best-practice time point ontology for event calculus-based temporal reasoning. In: LASKEY, K. B.; COSTA, P. C. G. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTIC TECHNOLOGIES FOR INTELLIGENCE, DEFENSE, AND SECURITY, Fairfax, VA, USA, 7., 2012. *Proceedings...* CEUR-WS, 2012. v. 966, p. 28-34.

SCHREIBER, G. et al. *Knowledge Engineering and Management: the CommonKADS Methodology*. Cambridge, MA, USA: MIT Press. 2002.

SHEN, Y.; RUAN, D.; HERMANS, E. Modeling qualitative data in data envelopment analysis for composite indicators. *International Journal of System Assurance Engineering*, v. 2, n. 1, p. 21-30, 2011.

STUDER, R.; BENJAMINS, R.; FENSEL, D. Knowledge engineering: principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*, v. 25, n. 1-2, p. 161-197, 1998.

TAVANA, M.; MOUSAVI, N.; GOLARA, S. A fuzzy-QFD approach to balanced scorecard using an analytic network process. *International Journal of Information and Decision Sciences*, v. 5, n. 4, p. 331-363, 2013.

TROKANAS, N.; CECELJA, F.; RAAFAT, T. Semantic approach for pre-assessment of environmental indicators in Industrial Symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, n.1, p. 349-361, 2013.

TUGGLE, C. K. et al. Computational integration of structural and functional genomics data across species to develop information on the porcine inflammatory gene regulatory pathway. In: PINARD, M. H. et al. *Developments in biologicals: animal genomics for animal health*. Paris: Karger, 2008. v. 132, p. 105-113,

VELIMIROVIC, G.; VELIMIROVIC, G. M.; STANKOVIC, R. Role and importance of key performance indicators measurement. *Serbian Journal of Management*, v. 6, n. 1, p. 63-72, 2011.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM - W3C. *Propriedade datetime*. 2012. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2012/REC-xmlschema11-2-20120405/#dt-dt-7PropMod>>. Acesso em: 9 set. 2015.

ZHOU, Q.; FIKES, R. A reusable time ontology. *Working Notes of AAAI Workshop on Ontologies and the Semantic Web*, p. 1-6, 2002.