

# Realidade Virtual e Documentação Digital do Patrimônio: um passeio virtual imersivo através do espaço, do tempo e dos dados

Maria Amelia Eliseo  
Ismar Frango Silveira  
Dennis José da Silva  
Beatriz de Almeida Pacheco  
Fabio da Silva Lopes

## Resumo

*Este artigo apresenta o desenvolvimento e a associação de uma ontologia externa a ambientes tridimensionais imersivos com interações espaço-temporais. A ontologia associada fornece dados, de forma transitiva, visualizados em forma de texto durante a interação com o ambiente virtual, que retrata espaços arquitetônicos significativos para a história e cultura. A ontologia descreve conceitos relacionados a espaços arquitetônicos classificados como patrimônio histórico e cultural, com proposições temporais. Foi utilizado como objeto de estudo a reconstrução digital tridimensional espaço-temporal do Edifício Mackenzie, que teve a ontologia integrada na composição de suas cenas, retratando diferentes períodos de sua história. A integração da ontologia com reconstruções digitais tridimensionais se constitui numa alternativa à documentação digital do patrimônio, uma vez que complementa a visualização 3D com dados textuais que não podem ser entendidos a partir das cenas.*

**Palavras-chave:** *Ontologia, Realidade Virtual, Reconstruções Digitais Tridimensionais, Patrimônio Cultural*

## 1 Introdução

Aplicações de Realidade Virtual que promovem um passeio imersivo em tempo-real nas reconstruções tridimensionais de edifícios com significado histórico tem privilegiado a preservação do patrimônio cultural como uma nova forma de documentação. Essas aplicações permitem ao usuário realizar um passeio imersivo e interativo, através de modelos virtuais tridimensionais de edifícios, ou mesmo cidades inteiras, onde o usuário é capaz de interagir alterando o ambiente virtual a partir de dispositivos de entrada de dados (como uma luva de dados - *data glove*) e visão estereoscópica, técnica que imita a visão humana para

determinar a profundidade dos objetos que compõem as cenas virtuais, proporcionando um maior realismo.

Os recursos oferecidos pela tecnologia da realidade virtual, aliados à computação gráfica tem se mostrado uma ferramenta potencial na representação tridimensional e reconstrução de edifícios históricos, o que contribui na catalogação de edifícios representativos para o patrimônio arquitetônico ao realizar uma simulação que coloca o usuário em contato com o passado, revivendo-o. Reconstruções virtuais tridimensionais, como Rome Reborn (FRISCHER, 2005 e ROME REBORN, 2010), São Paulo 1911 (CABRAL; ZUFFO; GHIROTTI; BELLOC; NOMURA; NAGAMURA; ANDRADE; FARIA; FERRAZ, 2007) e as apresentações do Teatro Tholos (FOUNDATION OF THE HELLENIC WORLD, 2011) permitem ao usuário realizar um “passeio virtual” imersivo e explorar os diferentes pontos de vista destes ambientes devido ao deslocamento no espaço virtual.

Além da visualização e a movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real, a experiência do usuário de realidade virtual torna-se mais fidedigna devido ao estímulo dos sentidos como tato, audição e até mesmo olfato, embora este último seja um pouco mais raro.

A interface do usuário com o ambiente virtual está relacionada com a capacidade do sistema computacional em detectar as ações do usuário, e reagir instantaneamente, em tempo real, modificando aspectos do ambiente. A possibilidade de o usuário interagir com um ambiente virtual tridimensional em tempo real, vendo as cenas serem alteradas como respostas aos seus movimentos, torna a interação imersiva.

Ao retratar um edifício ou uma cidade com significado histórico, além do espaço é importante representar as mudanças ocorridas ao longo do tempo, uma vez que estas transformações são consequência das intervenções humanas e agregam valores históricos, econômicos, culturais, sociais, etc. Numa

representação tridimensional espaço-temporal o usuário pode interagir não apenas modificando o espaço, mas escolhendo um momento específico a ser visualizado. Para isso, a aplicação deve reconstituir cenas que retratem períodos significativos.

Aplicações, que levam em consideração as modificações que ocorrem devido ao elemento tempo e às ações humanas ao longo da existência do edifício representado, utilizam a linha do tempo para atualizar a cena conforme o momento escolhido pelo usuário, como apresentado em Bernardes (2002). Neste caso, o usuário escolhe um determinado período na linha do tempo e a cena atual é substituída pela nova cena. Há outras aplicações que mostram as transformações através de um vídeo, como apresentado em Laycock; Drinkwater; Day (2008), mas, neste caso, a interação torna-se passiva.

A interação no espaço tridimensional aliado às transições temporais fornece uma visualização realística das transformações físicas ocorridas, num determinado período, no edifício retratado. Mas, ao representar um edifício com significado histórico há informações que não mostradas apenas com imagens ou cenas, por exemplo, a contextualização de um fato importante que marcou a história do local.

Desta forma, em reconstruções digitais tridimensionais de edifícios com significado histórico a integração do espaço com modificações decorrentes do tempo enriquecidos por componentes textuais, outras dimensões da história serão retratadas, como, por exemplo, as relações temporais associadas à composição/decomposição do espaço. Isto irá permitir aos usuários uma exploração espaço-temporal, abrindo possibilidades de interação com outros momentos ou períodos, além de obter informações referentes ao edifício e sua história.

Diante deste cenário, esta pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento e integração de uma ontologia no domínio da arquitetura com proposições espaço-temporais para armazenar informações de arquitetura e de história, bem como os relacionamentos entre estas informações, como complemento à visualização de reconstruções virtuais tridimensionais de edifícios com significado histórico. A ontologia foi associada ao modelo virtual tridimensional do Edifício Mackenzie, objeto de estudo, possibilitando navegação imersiva através de seus ambientes internos, mostrando sua transformação ao longo do tempo, bem como o acesso a informações adicionais sobre o sistema construtivo do edifício e outras informações relevantes acerca de sua história.

A escolha do Edifício Mackenzie, construído em 1893, como objeto de estudo, ocorreu pelo fato de ter sido tombado pelo CONDEPHAAT (Conselho de

Defesa do Patrimônio Histórico, Artístico, Arqueológico e Turístico do Estado de São Paulo), em 1993, que lhe concedeu o grau de preservação 1, ou seja, tanto a parte externa quanto interna devem ser preservados. Este edifício foi tombado como bem cultural de interesse histórico-arquitetônico não só pela tipologia arquitetônica, mas também pelo significado histórico-cultural que representou em relação ao ensino (SÃO PAULO (Estado), 1993). O Edifício Mackenzie foi construído originalmente para sediar a primeira Escola de Engenharia privada do Brasil (MACKENZIE, 1997).

Como contribuições, esta pesquisa mostra um método de inserção de dados adicionais, em forma de texto, em reconstruções virtuais tridimensionais onde o usuário, através da interação com o ambiente virtual, poderá buscar informações adicionais a respeito do edifício retratado. Muito pouco tem sido encontrado na literatura a respeito de aplicações de sistemas de Realidade Virtual que integrem estes três aspectos: espaço, tempo e dados adicionais num passeio imersivo.

Pretende-se, também, contribuir para a preservação de nossa história, não só através da visualização do espaço e do tempo, mas da visualização de dados informativos. Além de auxiliar a compreensão do passado, promove a experimentação de outras formas de experiência através dos passeios virtuais ao passado.

Cabe salientar que esta pesquisa é uma extensão de pesquisas anteriores ocorridas no período de 2008 e 2009, “Documentação Digital do Patrimônio: Um Modelo Tridimensional e Temporal para o Campus Mackenzie-Itambé” e “Realidade Virtual e Documentação Digital do Patrimônio: Implantação de Modelos Tridimensionais e Temporais para o Campus Mackenzie-Itambé para Ambientes Imersivos”, respectivamente, onde foram desenvolvidos os modelos tridimensionais do Edifício Mackenzie e associação ao banco de dados com características espaço-temporal.

Este artigo está dividido da seguinte forma: a sessão 2 apresenta conceitos sobre ontologia e proposições temporais; a sessão 3 relaciona trabalhos que se utilizam de ontologias no domínio do patrimônio cultural com proposições temporais; em seguida é apresentada a ontologia construída e sua relação com os elementos gráficos para a interação espaço-temporal enriquecida com dados informativos na sessão 4; a sessão 5 apresenta os resultados obtidos e por fim, a sessão 6 discute as considerações finais e trabalhos futuros.

## 2 Ontologia e proposições temporais

Uma ontologia é a representação do conhecimento de um domínio do discurso e consiste de uma lista de termos e relacionamentos entre estes termos. Descreve formalmente os termos que denotam conceitos importantes, onde um conjunto de objetos e seus relacionamentos são apresentados em forma de vocabulário, como classes de objetos do domínio. As relações incluem hierarquias de classes. As ontologias podem incluir informações como propriedades, restrições, declarações disjuntas, especificações de relacionamentos lógicos entre objetos (ANTONIOU; VAN HARMELEN, 2008, BREITMAN; CASANOVA; TRUSZKOWSKI, 2007). O propósito da ontologia é caracterizar uma conceitualização, limitando as possibilidades de interpretação de símbolos não lógicos de uma linguagem lógica, de modo a estabelecer um consenso sobre o conhecimento descrito (GUARINO, 1998).

As ontologias vêm sendo utilizadas em diferentes áreas da Ciência da Computação: inteligência Artificial, representação do conhecimento, web semântica, engenharia de software, dentre outros (BREITMAN; CASANOVA; TRUSZKOWSKI, 2007). Segundo Noy; McGuinness (2001), as vantagens de se utilizar uma ontologia são:

- compartilhamento de conhecimento comum de uma estrutura de informação entre pessoas ou softwares agentes;
- reúso do domínio do conhecimento;
- separação do conhecimento de domínio de conhecimento operacional;
- análise do conhecimento de domínio.

Geralmente, uma ontologia consiste de uma lista finita de termos e os relacionamentos entre eles. Estes termos denotam conceitos importantes do domínio (classes de objetos). O desenvolvimento de uma ontologia envolve as seguintes descrições, de acordo com Antoniou; Van Harmelen (2008):

- Classes: descreve conceitos no domínio, podendo conter subclasses que representam conceitos mais específicos que a superclasse. A classe se constitui de um conjunto de objetos chamados de indivíduos ou instâncias;
- Relacionamento: define a hierarquia das classes;
- Propriedades: descreve características e atributos do conceito.

Além disso, as ontologias podem incluir informações como:

- Restrições de valores;
- Declarações disjuntas;

- Especificação de relacionamentos lógicos entre objetos.

### 2.1 Ontologia com proposições temporais

Como a documentação do digital do patrimônio arquitetônico envolve relações temporais para descrever sua história, houve necessidade de desenvolver uma ontologia com proposições temporais. Considerando que o elemento tempo é composto de instantes (pontos) e intervalos que se relacionam para estabelecer uma sequência lógica de ações e eventos, a representação temporal tem sido abordada na literatura de três formas: a partir de instantes, de intervalos e de instantes e intervalos.

McDermott (1982) propõe uma abordagem baseada em instantes (ou pontos), onde intervalos podem ser definidos como um conjunto de pontos. Segundo Allen (1983), esta teoria é viável apenas em domínios onde apenas um evento de cada vez pode ocorrer. Assim, Allen (1983) apresenta um algoritmo de raciocínio computável para a representação temporal baseada em intervalos como primitiva. Descreve um método de representar relacionamentos entre intervalos temporais de uma forma hierárquica usando técnicas de restrições de propagação. Allen (1983) mostra treze possibilidades de relacionamento entre intervalos de tempo: Igual, Antes, Depois, Encontra, Encontrado por, Sobreposição, Sobreposto por, Inicia, Iniciado por, Durante, Contém, Finaliza, Finalizado por.

Ma (2007) faz uma categorização de proposições temporais baseadas em pontos e intervalos, uma vez que a teoria de tempo baseada em intervalos mostra-se inadequada para representar corretamente mudanças contínuas. A partir das treze possibilidades de relacionamento entre intervalos de tempo proposto por Allen (1983), Ma (2007) estabelece uma classificação das relações de ordem temporal envolvendo pontos e intervalos.

De acordo com Ma (2007), as relações de ordem entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , onde  $t_1$  representa o tempo inicial e  $t_2$ , o tempo final, podem ser classificadas em quatro grupos:

- Relações de ordem relativas a um momento para um momento: {Igual, Antes, Depois}
- Relações de ordem relativas a um intervalo de tempo para um intervalo de tempo: {Igual, Antes, Depois, Uso, Ocupado por, Sobreposição, Sobreposto por, Início, Iniciado por, Durante, Contexto, Fim, Finalizado por}
- Relações de ordem relativas a um momento para um intervalo de tempo: {Antes, Depois, Uso, Ocupado por, Início, Duração, Fim}

- Relações de ordem relativas a um intervalo de tempo para um momento: {Antes, Depois, Uso, Ocupado por, Iniciado por, Contexto, Finalizado por}.

Para a representação de um ambiente virtual com transições espaço-temporal, onde mudanças contínuas serão retratadas, devem ser consideradas características como:

- Relações de ordem de tempo de ponto para ponto, de intervalo para intervalo, de ponto para intervalo, de intervalo para ponto no âmbito das transformações espaciais ocorridas ao longo do tempo;

- Associação das relações de ordem de tempo com elementos gráficos usados na atualização da cena;

- Necessidade de considerar o tempo em termos de eventos e ações ocorridas no espaço arquitetônico num determinado período ou momento.

A representação virtual tridimensional de um edifício com significado histórico necessita de eventos e ações que mostrem períodos significativos enfatizando alterações ocorridas, intervalo em que elas ocorreram, duração, dentre outras relações temporais. Assim, conseguirá retratar não apenas a configuração espacial num determinado momento, mas mudanças ocorridas ao longo de sua existência.

### 3 Trabalhos correlatos

Quase nada foi encontrado na literatura sobre a integração de ontologia com proposições temporais num ambiente virtual tridimensional para retratar momentos históricos de edifícios significativos para o patrimônio. No entanto, a catalogação de informações para descrever e resgatar um edifício no tempo tem sido abordada por organizações que desenvolvem padrões para descrever e resgatar informações sobre objetos culturais. O Comitê Internacional para Documentação do Conselho Internacional de Museus (*International Committee for Documentation of the International Council of Museums - ICOM-CIDOC*) publicou o Modelo Conceitual de Referência (*Conceptual Reference Model - CRM*) que fornece definições e uma estrutura formal para descrever os conceitos e relações usadas na documentação do patrimônio histórico (INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUMS, 2010).

O CRM foi elaborado com o objetivo de facilitar a integração, mediação e troca de informações sobre o patrimônio cultural. Permite a integração de um grande número de recursos de informações favorecendo a interoperabilidade entre diferentes sistemas, devido sua flexibilidade de compatibilidade.

O CRM é uma ontologia elaborada para expressar os termos de lógica ou a linguagem de representação

do conhecimento. Seus conceitos podem ser instanciados como conjuntos de declarações que fornecem um modelo da realidade. Este modelo apresenta relações entre classes, propriedades e regras de herança. Por descrever conceitos e relacionamentos utilizados em documentação do patrimônio cultural, sua estrutura envolve relações temporais, espaciais e pessoais (INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUMS, 2010).

Outro trabalho a ser destacado é o projeto da ontologia do patrimônio de Cantabria, desenvolvido pela Fundación Marcelino Botín, que reúne, de forma estruturada, conhecimentos sobre o patrimônio de Cantabria (localizado na Espanha) em vários aspectos: do arqueológico ao industrial, do científico-cultural ao etnográfico, passando por seus atores e períodos históricos. Inclui uma base de conhecimento, em forma de ontologia, com diferentes áreas científicas relacionadas ao patrimônio (história, geografia, arte, gerenciamento do patrimônio, etc.), gerados por diferentes indivíduos e entidades para oferecer um portal web do patrimônio de Cantabria (HERNÁNDEZ-CARRASCAL, 2008).

A partir da ontologia de Cantabria, algumas aplicações foram disponibilizadas, como o mecanismo de busca semântico, que permite buscas do tipo “livros impressos entre 1097 e 1939, escritos por autores nascidos em Santander”. Há um mapa interativo onde o usuário pode localizar os dados geográficos do patrimônio de Cantabria e estabelecer caminhos entre diferentes pontos.

A preocupação deste projeto foi definir uma estrutura comum de informação, a fim de proporcionar um padrão para a troca de dados. Assim, para o desenvolvimento da ontologia do Patrimônio da Cantabria, foram utilizados como base padrões internacionais como o CRM, Requisitos Funcionais para Registros Bibliográficos (FRBR) da Federação Internacional de Associações e Instituições Bibliotecárias (IFLA) ou Dublin Core, além das recomendações do W3C para a web semântica (HERNÁNDEZ-CARRASCAL, 2008).

A integração de ontologia com o ambiente virtual tridimensional pode ser encontrado em Aratow; John; Couch; Evestedt; Hudson; Polys; Puk; Ray; Victor; Wang; Godil (2007), que descreve um padrão formal para a renderização volumétrica, segmentação e registro de dados de imagens médicas. O ambiente virtual 3D foi desenvolvido em X3D, um formato padrão para representar cenas e objetos 3D usando a linguagem XML (WEB3D CONSORTIUM, 2012). Por ser baseado em XML, o formato oferece suporte à inclusão de metadados para definições semânticas dos elementos gráficos. Assim, o ambiente virtual é

alimentado por uma ontologia de anatomia (SNOMED - *Systematized Nomenclature of Medicine-Clinical Terms* e FMA - *Foundational Model of Anatomy*) associada aos elementos de metadados de X3D, fornecendo dados textuais durante a interação com o ambiente 3D.

Os primeiros exemplos discutidos acima mostram padrões para o desenvolvimento de ontologias para descrição do patrimônio histórico e cultural e algumas aplicações alimentadas por estas ontologias. Mas não apresentam formas de aplicar ontologias em ambientes tridimensionais, como mostra o último exemplo. Neste caso, a integração de uma ontologia com o ambiente 3D ocorre numa interação espacial, não envolvendo a interação temporal. Baseado nestes exemplos e acrescentando a dimensão temporal, a próxima sessão apresenta a integração de uma ontologia com proposições temporais no domínio da arquitetura em ambientes virtuais tridimensionais para a reconstrução de edifícios com significado histórico e cultural.

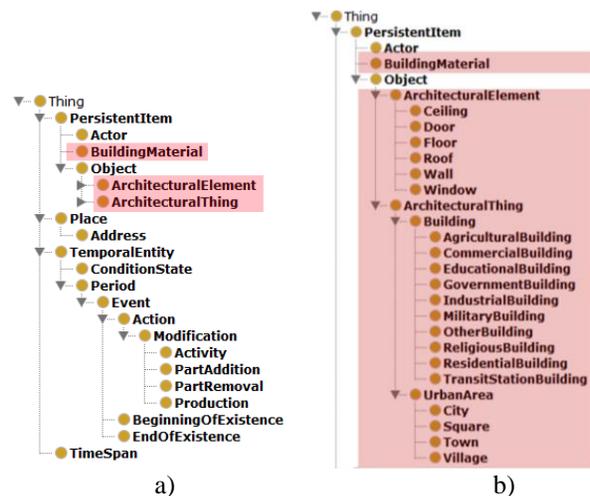
#### 4 Ontologia com proposições temporais para reconstruções virtuais tridimensionais

Baseado em Breitman; Casanova; Truszkowski (2007), Noy; McGuinness (2001), Antoniou; Van Harmelen (2008), Allen (1983), Ma (2007), International Council of Museums (2010) e Aratow; John; Couch; Evestedt; Hudson; Polys; Puk; Ray; Victor; Wang; Godil (2007) foi definida uma ontologia de domínio que descreve conceitos no domínio da arquitetura abrangendo conceitos do patrimônio histórico e cultural, além das relações temporais, para dar suporte às descrições acerca de transformações ocorridas em espaços arquitetônicos com valor para o patrimônio. O objetivo da ontologia é permitir argumentações sobre transformações ocorridas num espaço arquitetônico específico como resultado das ações humanas e das relações temporais (ELISEO; OLIVEIRA; PELLEGRINO, 2011). O espaço arquitetônico pode ser representado por um edifício, um grupo de edifícios, um parque ou mesmo uma área urbana. A ontologia proposta descreve características estruturais de espaços arquitetônicos, dados históricos e mudanças físicas ocorridas conforme relações temporais, como as alterações no uso e ocupação que, conseqüentemente, alteram a configuração espacial.

A ontologia foi elaborada observando a estrutura formal do CRM proposto pelo Comitê Internacional para Documentação do Conselho Internacional de Museus. Foi escolhido este modelo por ser flexível e possibilitar adaptações em sua estrutura, ao descrever

conceitos e relacionamentos da documentação do patrimônio cultural, incluindo informações temporais. Também possibilita a integração de recursos de informação, favorecendo a interoperabilidade e a flexibilidade entre diferentes sistemas.

Como o propósito do CRM é definir conceitos relativos ao patrimônio histórico e cultural como um todo, foram necessárias algumas alterações em sua estrutura para suprir as necessidades da ontologia proposta. Houve acréscimo de conceitos específicos no domínio da arquitetura para permitir argumentações sobre transformações ocorridas ao longo do tempo num espaço arquitetônico específico, bem como retirada de outros conceitos que seriam utilizados para o propósito desta pesquisa. A Figura 1 mostra a hierarquia de classes da ontologia elaborada para catalogar espaços arquitetônicos e suas relações temporais, baseadas na estrutura proposta no modelo fornecido pelo International Council of Museums (2010). As classes em destaque da Figura 1a, “*BuildingMaterial*”, “*ArchitecturalElement*” e “*ArchitecturalThing*”, específicas no domínio da arquitetura, foram acrescentadas a essa estrutura. A Figura 1b é continuação da Figura 1a com as classes “*ArchitecturalElement*” e “*ArchitecturalThing*” desdobradas.



**Figura 1. Hierarquia de Classes definidas na ontologia. Fonte: Eliseo; Oliveira; Pellegrino (2011).**

Para completar a hierarquia de classes na descrição de seus conceitos, foram elaboradas propriedades e suas correspondentes inversas, além de propriedades do tipo *datatypes* para os relacionamentos entre indivíduo e valor. Cada propriedade foi estabelecida para compor as informações que atendam aos propósitos da ontologia.

A partir das propriedades e suas correspondentes inversas foram definidos os axiomas que descrevem o espaço arquitetônico e seus relacionamentos temporais e espaciais, como “*Event modified Object*” (Evento modificou Objeto) e seu inverso “*Object wasModifiedBy Event*” (Objeto foi modificado por Evento).

Como apresentado em Eliseo; Oliveira; Pellegrino (2011), para assegurar a consistência da ontologia em responder questões como “qual evento existe desde o ano X e modificou alguma parte do espaço arquitetônico” ou “qual evento durou até o ano X” foram acrescentadas as regras (1) e (2) na estrutura formal. A regra (1) retorna as modificações que tiveram início num determinado momento e ainda estão presentes e a regra (2) retorna modificações que duraram até um momento específico.

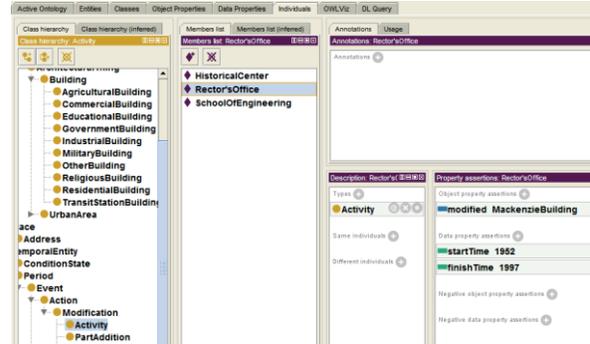
$$Event(?e), startTime(?e, ?s) \rightarrow existSince(?e, ?s) \quad (1)$$

$$Event(?e), startTime(?e, ?a), finishTime(?e, ?f) \rightarrow lasted(?e, ?f) \quad (2)$$

Como objeto de estudo desta pesquisa o Edifício Mackenzie foi utilizado como indivíduo na ontologia. Ela foi construída para permitir o acréscimo de outros indivíduos, ou seja, outros espaços arquitetônicos com significado para o patrimônio cultural.

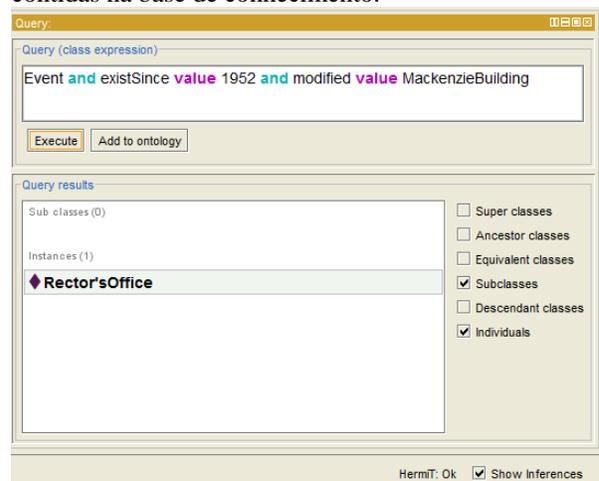
Descreve as principais ocorrências que alteraram a estrutura do Edifício Mackenzie, mostrando ações dependentes do tempo: a construção do edifício, que ocorreu de 1893 a 1895, o uso pela Escola de Engenharia, de 1895 a 1955, o uso pela Reitoria, de 1955 a 1998, a restauração do edifício de 1998 a 2004, consequência do tombamento pelo CONDEPHAAT em 1993, quando recebeu o grau de preservação 1, que preserva tanto o espaço interno, quanto a estrutura externa (CENTRO HISTÓRICO MACKENZIE, 2006; MACKENZIE, 1997).

A Figura 2 apresenta um exemplo dos relacionamentos do indivíduo “*Rector’sOffice*” (Reitoria). O evento “*Rector’sOffice*” modificou o Edifício Mackenzie através da ação “*Rector’sOffice modified MackenzieBuilding*”, iniciada (*startTime*) em 1952 e terminada (*finishTime*) em 1997. *StartTime* e *finishTime* são propriedades do tipo *datatypes* definidos previamente pela ontologia, que contém como valores os inteiros 1952 e 1997. Estas assertivas respondem a questões como “Qual evento durou até o ano X?” e “Qual evento que já existia desde o ano X e modificou alguma parte do espaço arquitetônico?”.



**Figura 2. Assertivas referentes ao indivíduo *Rector’sOffice* (Reitoria), relacionado ao Edifício Mackenzie (*MackenzieBuilding*). Fonte: Eliseo; Oliveira; Pellegrino (2011).**

A Figura 3 ilustra o resultado da inferência da questão de competência: “qual evento já existia desde o ano de 1952 e modificou o Edifício Mackenzie (Event and existSince 1952 and modified value MackenzieBuilding), cuja resposta é “*Rector’sOffice*” (Reitoria). A ontologia proposta foi efetiva ao responder as questões de competência predefinidas, contidas na base de conhecimento.



**Figura 3. Resposta para a questão: “Qual evento que já existia desde o ano X e modificou alguma parte do espaço arquitetônico”. Fonte: Eliseo; Oliveira; Pellegrino (2011).**

A ontologia foi construída no Protégé 4.1, um editor de RDF (*Resource Description Framework*) e OWL (*Web Ontology Language*) de código aberto, desenvolvido pela Universidade de Stanford. Descreve ontologias declarativamente ao afirmar explicitamente o que é a hierarquia de classe e a quais classes pertencem cada indivíduo (PROTÉGÉ, 2010).

A ontologia proposta teve sua consistência testada através do “sistema de cadastro de espaços

arquitetônicos” (resultante de um Trabalho de Graduação Interdisciplinar) elaborado a partir da API (*Application Programming Interface*) GKMT (*Grow Knowledge Management Tool*) junto com o *framework* Sesame, que mostrou o potencial para a inclusão de novos indivíduos, que podem ser outros edifícios, e seus respectivos relacionamentos por parte dos usuários. O “sistema de cadastro de espaços arquitetônicos” permite o cadastramento de novos indivíduos, estabelecer os relacionamentos entre estes indivíduos e consultas à base de dados (KANADANI, 2011).

GKMT é uma API que facilita a manipulação de ontologias, permitindo operações de inserção, remoção, recuperação e atualização de instâncias. Foi utilizada para a configuração e criação do repositório que armazena as informações da ontologia utilizada no “sistema de cadastro de espaços arquitetônicos”.

Sesame é um *framework* para processamento de dados RDF que suporta análise, armazenamento, inferência e consulta sobre esses dados. Dá suporte às consultas SPARQL (*Simple Protocol and RDF Query Language*), uma linguagem de consulta à base de dados RDF, usadas na aplicação para a validação da ontologia.

O “sistema de cadastro de espaços arquitetônicos” respondeu com sucesso as questões de competência inicialmente sugeridas para a elaboração da ontologia, mostrando sua consistência. Inclusive as questões que necessitavam das regras (1) e (2) foram respondidas conforme o esperado.

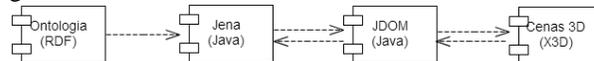
#### 4.1 Associação da ontologia ao ambiente virtual 3D

Assim como descrito em Aratow; John; Couch; Evestedt; Hudson; Polys; Puk; Ray; Victor; Wang; Godil (2007), o ambiente virtual espaço-temporal retratando o Edifício Mackenzie foi elaborado em X3D devido à flexibilidade e ao suporte à inclusão de metadados.

Para a inserção de metadados, X3D possui nós como <WorldInfo>, para a descrição da cena, <MetadataSet>, que permite a elaboração de estruturas mais complexas e pode conter os nós <MetadataDouble>, <MetadataFloat>, <MetadataInteger>, <MetadataString>, que armazenam valores do tipo *double*, *float*, *integer* e *string*, respectivamente.

Devido a esta característica, os metadados podem ser alimentados a partir da associação de uma ontologia externa. Os dados provenientes desta ontologia são incorporados ao código X3D e utilizados na identificação dos elementos gráficos, na definição

dos relacionamentos espaço-temporais e no fornecimento de dados para a visualização de informações textuais durante o passeio virtual. A Figura 4 mostra os componentes para a associação de uma ontologia formalizada em RDF aos elementos gráficos das cenas 3D, escritas em X3D.



**Figura 4. Componentes para a associação da ontologia RDF aos elementos gráficos das cenas 3D.**

Conforme a Figura 4, o *framework* Jena, desenvolvido em Java, extrai as informações solicitadas da ontologia para sua inclusão nos metadados de X3D, responsável pela composição das cenas 3D. Através do JDOM, um componente Java que permite a manipulação de elementos XML, as informações extraídas da ontologia, como propriedades de classes e indivíduos, são embutidas nos metadados de X3D.

Jena possui a funcionalidade de ler, processar e escrever dados RDF no formato XML n-triplas, entre outros. Inclui um mecanismo de inferências baseado em regras para realizar o raciocínio (*reasoning*) com base em ontologias, além de fornecer estratégias de armazenamento dos dados. Assim, permite manipular ontologias e fazer consultas à base de dados (JENA, 2012).

JDOM tem a funcionalidade de acessar, manipular e extrair dados XML a partir de código Java (JDOM, 2012). Interage com DOM (*Document Object Model*), uma forma padrão para acessar e manipular documentos XML, como inserir ou retirar nós do código. Define objetos e propriedades dos elementos XML e os métodos para acessá-los. Com JDOM foi possível inserir os nós <MetadataString> no código X3D, que contém informações extraídas da ontologia externa.

A Figura 5 mostra um trecho do código X3D com o acréscimo dos metadados provenientes da ontologia e manipulados com o JDOM, descrevendo a parede divisória que foi construída no Edifício Mackenzie em 1920, como parte da reforma da época. A parede foi construída em tabique, madeira vazada internamente, coberta por juta e tela de arame para segurar a argamassa, técnica construtiva comum na época (CENTRO HISTÓRICO MACKENZIE, 2006).

Estes metadados são utilizados durante a interação espaço-temporal com a reconstrução virtual tridimensional do Edifício Mackenzie para a visualização de dados textuais complementares ao passeio virtual. Ao acessar a cena que mostra o Edifício Mackenzie no ano de 1920, e ao se deparar com esta parede divisória, é exibido um texto cujas

informações foram retiradas da ontologia elaborada durante esta pesquisa, conforme mostra a Figura 6.

```

<Group DEF='WallIntRoom1aa_1952'>
...
<Transform DEF='SideWall149' translation='1.6 1.4 -6.1'>
  <MetadataSet name='PartitionWall'
    reference='partition wall made wood leaked internally,
    covered with jute and wire mesh to hold the mortar'>
    <MetadataString name='consistsOf' value='Wood'/>
    <MetadataString name='consistsOf' value='Mortar'/>
    <MetadataString name='consistsOf' value='Jute'/>
    <MetadataString name='wasModifiedBy' value='Restoration'/>
    <MetadataInteger name='startTime' value='1920'/>
    <MetadataInteger name='wasChangedIn' value='1998'/>
  </MetadataSet>
  <ProtoInstance name='WallInt'>
    ...
  </ProtoInstance>
</Transform>
...
</Group>

```

Figura 5. Descrição das relações semânticas da parede divisória.

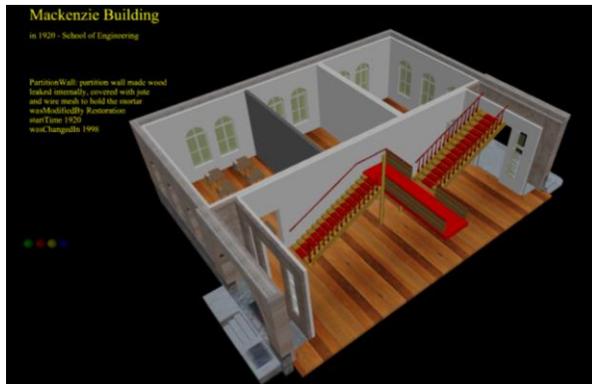
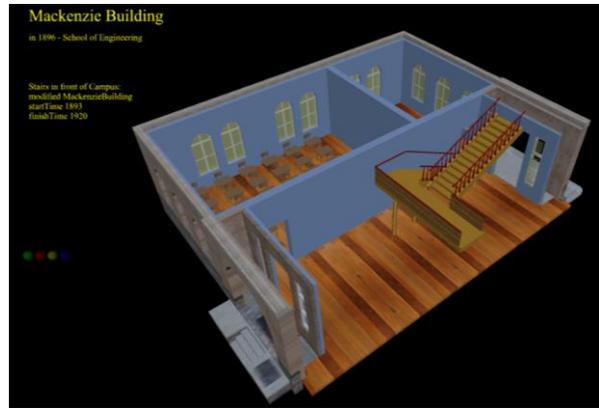


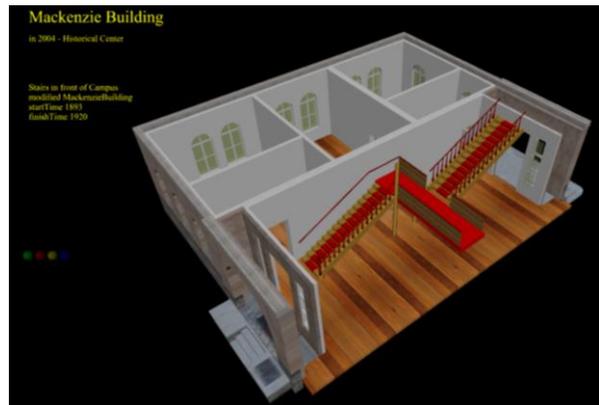
Figura 6. O Edifício Mackenzie retratado em 1920, com dados textuais sobre a parede divisória construída nesta época.

## 5 Resultados obtidos

Como um exemplo da associação de uma ontologia externa a um ambiente virtual tridimensional com interações espaço-temporais, para complementação de dados textuais na documentação digital do patrimônio foi discutido sua aplicação na reconstrução digital do Edifício Mackenzie. Todas as cenas retratadas tiveram dados associados através de metadados do X3D. A Figura 7 mostra a alteração da posição da escada do Edifício Mackenzie, relatando o ocorrido com dados fornecidos pela ontologia. A Figura 7a mostra o Edifício em 1893, época da inauguração, com a escada voltada para a Rua Maria Antonia. A Figura 7b retrata o ano de 2004, após as reformas de restauro com a escada voltada para o Campus, modificação ocorrida, provavelmente em 1920 (CENTRO HISTÓRICO MACKENZIE, 2006).



a)



b)

Figura 7. Alterações no posicionamento da escada do Edifício Mackenzie.

Todos os dados textuais exibidos durante o passeio virtual são provenientes, de forma transitiva, da ontologia elaborada durante esta pesquisa. Estes dados descrevem acontecimentos ou situações relacionados ao ambiente espaço-temporal retratado. As frases são formadas a partir de classes, propriedades e valores definidos na ontologia, não havendo necessidade de reescrevê-las.

A representação de relações temporais a partir da ontologia vai além da descrição de classes e propriedades, pois, devido a sua lógica, envolve regras para estabelecer durações de eventos, ou a existência de um evento iniciado no passado, ou definir relações antes/depois.

Como a ontologia elaborada é externa e flexível, ela permite se estender com a inclusão de novos indivíduos e relacionamentos, seja referente ao Edifício Mackenzie, que também é um indivíduo, seja acrescentando novos espaços arquitetônicos e a descrição de seus dados. Por isso, a mesma ontologia pode ser reaproveitada por outras aplicações, como a reconstrução digital tridimensional de outros espaços

arquitetônicos, mecanismos de busca semânticos que retornem, não apenas dados textuais, mas também, cenas tridimensionais.

Embora, durante esta pesquisa, foi associada apenas uma ontologia ao ambiente virtual 3D, é possível a integração de outras ontologias, para exibir dados de outros domínios complementando a visualização 3D com outras informações de interesse.

## 6 Considerações finais e trabalhos futuros

Este artigo mostrou associação de uma ontologia externa com um ambiente virtual tridimensional, como forma de complementar a visualização de reconstruções digitais 3D de espaços arquitetônicos significativos para o patrimônio cultural com dados textuais, fornecendo informações que não podem ser vistas somente a partir das cenas. A ontologia foi estruturada para descrever espaços arquitetônicos com significado para o patrimônio histórico e cultural, incluindo relacionamentos espaço-temporais.

Como o patrimônio arquitetônico reflete os modos de vida, as relações sociais, culturais, políticas e econômicas de uma comunidade específica numa determinada época, a ontologia associada a reconstruções digitais tridimensionais de espaços arquitetônicos é uma alternativa à documentação digital do patrimônio ao acrescentar informações de tais relações no passeio virtual.

Como trabalhos futuros, propõe-se estender a ontologia para o retrato de outros espaços arquitetônicos, associada a sua respectiva reconstrução digital tridimensional. Experimentar a inclusão de ontologias de outros domínios no ambiente virtual 3D de um espaço arquitetônico. Incluir um reasoning para possibilitar inferências e busca de elementos gráficos, uma vez que estes elementos foram associados a metadados alimentados pela ontologia.

## 7 Referências

ALLEN, F. James. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals. *Communications of the ACM*, v. 26, n. 11. Nov. p. 832-843, 1983.

ANTONIOU, G.; VAN HARMELEN, F. *A Semantic web primer*. Cambridge: The MIT Press, 2008.

ARATOW, M. JOHN, N.W. COUCH, J. EVESTEDT, D. HUDSON, A. POLYS, N. PUK, R. RAY, A. VICTOR, K. WANG, Q. GODIL, A. *Development of an Amendment to X3D to Create a Standard Specification of Medical Image Volume Rendering, Segmentation, and Registration*. Web3D Consortium. 2007. Disponível em:

<[http://www.web3d.org/documents/medical/2008/Web3D\\_TATRC\\_FinalReportPublic.pdf](http://www.web3d.org/documents/medical/2008/Web3D_TATRC_FinalReportPublic.pdf)>. Acesso em: 20/10/2012.

BERNARDES, Paulo José Correa. *Arqueologia urbana e ambientes virtuais: um sistema para Bracara Augusta*. 2002. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Instituto de Ciências Sociais, Universidade do Minho, Braga. Disponível em:

<[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/191/1/te\\_sepb\\_vers\\_final.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/191/1/te_sepb_vers_final.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2011.

BREITMAN, K. K.; CASANOVA, M. A.; TRUSZKOWSKI W. *Semantic web: concepts, technologies and applications*. London: Springer, 2007.

CABRAL, M.; ZUFFO, M.; GHIROTTI, S.; BELLOC, O.; NOMURA, L.; NAGAMURA, M.; ANDRADE, F.; FARIA, R.; FERRAZ, L. An experience using X3D for virtual cultural heritage. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON 3D WEB TECHNOLOGY, 12., 2007, Perugia. *Proceedings...*[S.l.: s.n.], 2007. p. 161-164.

CENTRO HISTÓRICO MACKENZIE. *A restauração do Edifício Mackenzie*. São Paulo: Dezembro Editorial, 2006.

ELISEO, Maria Amelia; OLIVEIRA, José. M. Parente; PELLEGRINO, Sérgio R. M. Domain ontology with temporal descriptions for architectural buildings as a support for learning history of architecture. *IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine*, v.6, no. 2, p.24 – 31, 2011.

FOUNDATION OF THE HELLENIC WORLD. Site oficial. Athens, 2011. Disponível em: <<http://www.fhw.gr/fhw/index.php?lg=2>>. Acesso em: 07/05/2011.

FRISCHER, Bernard. *New directions for cultural virtual reality: a global strategy for archiving, serving, and exhibiting 3D computer models of cultural heritage sites*. 2005. Disponível em: <[http://www.romereborn.virginia.edu/VR\\_Frischer2005.pdf](http://www.romereborn.virginia.edu/VR_Frischer2005.pdf)>. Acesso em: 15/06/2007.

GUARINO, N. Formal ontology and information systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORMAL ONTOLOGIES IN INFORMATION SYSTEMS, I., 1998, Trento. *Proceedings...* Amsterdam: IOS Press, 1998. p. 3-15.

HERNÁNDEZ-CARRASCAL, F. "Ontología del patrimonio de Cantabria". En: El profesional de la información, v. 17, n. 1, Jan-Feb, 2008, pp. 92-98.

INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUMS. *Definition of the CIDOC conceptual reference model. Version 5.0.2*. Jan. 2010. Disponível em: <[http://www.cidoc-crm.org/docs/cidoc\\_crm\\_version\\_5.0.2.pdf](http://www.cidoc-crm.org/docs/cidoc_crm_version_5.0.2.pdf)>. Acesso em: 15/01/2011.

JDOM. *Home page*. 2012. Disponível em: <<http://www.jdom.org>>. Acesso em: 10/09/2012.

JENA. *Apache Jena*. 2012. Disponível em: <<http://jena.apache.org/index.html>>. Acesso em: 10/09/2012.

KANADANI, Lucas T. *Cadastro de espaços arquitetônicos: um sistema baseado em Ontologia*. 2011. Monografia (Trabalho de Graduação Interdisciplinar). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

LAYCOCK, R.G.; DRINKWATER, D.; DAY, A. M. Exploring cultural heritage sites through space and time. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, v. 1, no. 2, Article 11, p. 1-11,15, Oct 2008.

MA, J. Ontological considerations of time, meta-predicates and temporal propositions. *Applied Ontology*, v.2, p.37-66, 2007.

MACKENZIE. *Mackenzie, 126 anos de ensino: valores acima do tempo*. São Paulo: Prêmio, 1997.

McDERMOTT. Drew. A temporal logic for reasoning about processes and plans. *Cognitive Science*, n.6, p.101–155, 1982.

NOY, N. F.; McGUINNESS, D. L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. *Knowledge Systems, AI Laboratory, Stanford University (KSL-01-05)*, (2001)pp. 1-4. Disponível em: <[http://protege.stanford.edu/publications/ontology\\_development/ontology101.pdf](http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf)>. Acesso em: 10/09/2010

PROTÉGÉ. *Welcome to Protégé*. 2010. Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/>>. Acesso em: 10/09/2010.

ROME REBORN. Site oficial. Virginia, 2010. Disponível em: <<http://www.romereborn.virginia.edu/>>. Acesso em: 20/04/2011.

ROUSSOU, Maria. *Immersive interactive virtual reality in the museum*. Athens: Foundation of the Hellenic World, 2000. Disponível em: <<http://ui4all.ics.forth.gr/i3SD2000/Roussou.PDF>>. Acesso em: 26/05/2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Cultura. Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico. Resolução SC-27, de 15 de dezembro de 1993. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, Poder Executivo, São Paulo, 16 dez 1993.

WEB3D CONSORTIUM. *What is X3D?* 2012. Disponível em: <<http://www.web3d.org/realtime-3d/x3d/what-x3d>>. Acesso em: 10/02/2012.