

Modelagem de metadados multimídia: uma proposta ontológica baseada em reúso

Daniela Lucas da Silva Lemos

Doutorado em Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil. Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, ES, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/9280443047358807>

<http://www.biblioteconomia.ufes.br/daniela-lucas-da-silva-lemos>

<https://orcid.org/0000-0003-1565-7366>

E-mail: danielalucas@hotmail.com

Submetido em: 15/09/2020. Aprovado em: 25/11/2020. Publicado em: 28/07/2021.

RESUMO

Nos últimos anos, observou-se um crescimento significativo de dados semanticamente relacionados e distribuídos na Web. Nesse contexto, padrões de metadados recomendados pelo *World Wide Web Consortium* vêm sendo utilizados para descrever e representar recursos multimídia, possibilitando ampliar os pontos de acesso e melhorar a gestão, a organização e a recuperação de recursos digitais na rede. Um problema comumente verificado nas bases de dados institucionais está no tratamento integrado de dados heterogêneos e na ausência de padronização nos formatos de descrição. A descrição de inúmeros itens, geralmente, é realizada de maneira independente, com padrões idiossincráticos de descrição, ressaltando diferentes características a serem descritas e diferentes terminologias para descrevê-las, desconsiderando requisitos de interoperabilidade entre as comunidades. A presente pesquisa buscou avançar nas formas de representação de documentos multimídia com textos, vídeos, imagens, modelos 3D, áudios, propondo um Modelo Ontológico de Referência Multimídia capaz de organizar semanticamente tipologias de metadados para descrição de conteúdo multimídia diante de variados contextos e necessidades. Metodologicamente, a proposta de modelagem foi fundamentada em ontologias multimídia mais bem colocadas em um *ranking* obtido a partir do guia *NeOn Methodology*, o que assegurou a seleção de recursos de conhecimento adequados diante de requisitos funcionais e não funcionais determinados. O Modelo Ontológico de Referência Multimídia propôs classes e relacionamentos ontológicos fundamentais provenientes de mapeamentos e alinhamentos semânticos entre as ontologias reutilizadas, promovendo uma arquitetura abrangente para a organização semântica de metadados multimídia endereçados, principalmente, a aplicações que lidam com recursos de informação na Web.

Palavras-chave: Recursos multimídia. Anotação multimídia. Modelo ontológico de referência multimídia. Ontologias. Interoperabilidade.

Multimedia metadata modeling: an ontological proposal based on reuse

ABSTRACT

In recent years, there is a significant growth of semantically related and distributed data on the Web. In this context, metadata standards recommended by the World Wide Web Consortium have been used to describe and represent multimedia resources, making it possible to expand access points and improve the management, organization and recovery of digital resources on the network. A problem commonly found in institutional databases is the integrated treatment of heterogeneous data and the lack of standardization in description formats. The description of numerous items is generally carried out independently, with idiosyncratic standards of description, emphasizing different characteristics to be described and different terminologies to describe them, disregarding interoperability requirements between communities. The present research sought to advance in the forms of representation of multimedia documents with texts, videos, images, 3D models, audios, proposing an Ontological Model of Multimedia Reference capable of semantically organizing types of metadata to describe multimedia content in different contexts and needs. Methodologically, the modeling proposal was based on multimedia ontologies better placed in a ranking obtained from the NeOn Methodology guide, which ensured the selection of adequate knowledge resources in light of functional and non-functional requirements. The Ontological Model of Multimedia Reference proposed fundamental ontological classes and relationships from mappings and semantic alignments between reused ontologies, promoting a comprehensive architecture for the semantic organization of multimedia metadata addressed mainly to applications that deal with information resources on the Web.

Keywords: *Multimedia resources. Multimedia annotation. Ontological Model of Multimedia Reference. Ontologies. Interoperability.*

Modelado de metadatos multimedia: una propuesta ontológica basada en la reutilización

RESUMEN

En los últimos años, ha habido un crecimiento significativo en los datos semánticamente relacionados y distribuidos en la Web. En este contexto, estándares de metadatos recomendados por el World Wide Web Consortium se han utilizado para describir y representar recursos multimedia, lo que permite ampliar los puntos de acceso y mejorar gestión, organización y recuperación de recursos digitales. Un problema que se encuentra comúnmente en las bases de datos institucionales es el tratamiento integrado de datos heterogéneos y la falta de estandarización en los formatos de descripción. La descripción de numerosos elementos generalmente se lleva a cabo de forma independiente, con estándares de descripción idiosincráticos, enfatizando diferentes características para ser descritas y diferentes terminologías para describirlas, sin tener en cuenta los requisitos de interoperabilidad. La presente investigación buscó avanzar en las formas de representación de documentos multimedia, proponiendo un Modelo Ontológico de Referencia Multimedia capaz de organizar semánticamente tipos de metadatos para describir contenido multimedia en diferentes contextos y necesidades. Metodológicamente, la propuesta de modelado se basó en ontologías multimedia mejor ubicadas en un ranking obtenido de la guía de Metodología NeOn, que aseguró la selección de recursos de conocimiento adecuados a la luz de requisitos funcionales y no funcionales. El Modelo Ontológico de Referencia Multimedia propuso clases y relaciones ontológicas fundamentales a partir de mapeos y alineamientos semánticos entre ontologías reutilizadas, promoviendo una arquitectura para la organización semántica de metadatos multimedia dirigidos principalmente a aplicaciones que manejan recursos de información en la Web.

Palabras clave: *Recursos multimedia. Anotación multimedia. Modelo Ontológico de Referencia Multimedia. Ontologías. Interoperabilidad.*

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observou-se um crescimento significativo de dados semanticamente relacionados e distribuídos na Web. Nesse contexto, padrões de metadados recomendados pelo *World Wide Web Consortium* (W3C) vêm sendo utilizados para descrever e representar recursos multimídia, possibilitando ampliar os pontos de acesso e melhorar a gestão, a organização e a recuperação de recursos digitais na rede. Entretanto, o relacionamento entre multimídia e Web de dados ainda é um ramo de pesquisa que carece de estudos avançados, voltados a tecnologias eficientes para geração, exposição, descobrimento e consumo de recursos multimídia semanticamente vinculados na Web (SCHANDL *et al.*, 2012; SILVA; SOUZA, 2014; LEMOS; SOUZA, 2020).

Um recurso multimídia contempla um documento composto, que faz referência a vários tipos de objetos, tais como vídeo, texto, som, imagem, modelo tridimensional (3D), dentre outros, e ainda pode ser dividido em partes que resultam em tipos de mídias específicos (SCHANDL *et al.*, 2012). Adjero e Nwosu (1997) acrescentam ainda que alguns tipos de dados multimídia, como vídeo, áudio e sequências de animação, possuem requisitos temporais que implicam diretamente na representação, no armazenamento, na transmissão, manipulação e apresentação do dado. De forma similar, imagens, modelos 3D e vídeos possuem restrições espaciais em seus conteúdos, concernentes a relações espaciais entre objetos individuais pertencentes a uma imagem, a uma réplica digital em 3D ou a um quadro de vídeo, respectivamente. Assim, na representação de recursos multimídia, deve-se considerar características particulares, incluindo relações espaciais entre elementos de interesse no conteúdo e relações temporais na ocorrência de eventos em dado período de tempo.

Atualmente, recursos multimídia tornam-se onipresentes no lazer, no aprendizado, nas artes, na comunicação, no comércio, nas ciências, tomando formatos de arquivos digitais produzidos e disponibilizados, geralmente, em repositórios digitais na Web.

Exemplos disso, seriam as coleções digitais organizadas em bases de dados oriundas de museus e outras instituições de cultura responsáveis pela guarda e divulgação de obras de arte e documentos históricos (HYVÖNEN, 2012). Nesse cenário, observa-se, principalmente, um aumento de práticas de digitalização de acervos institucionais e a inserção de itens e coleções em sistemas de informação, como os repositórios digitais, que promovem condições necessárias a novas formas de organização, acesso e recuperação da informação na rede (POTENZIANI *et al.*, 2018), culminando no surgimento de grandes bases de dados de objetos digitais heterogêneos.

Assim, documentos institucionais digitalizados ou produzidos em formato digital podem estar disponibilizados nessas bases de dados na forma de texto, imagem, modelo 3D, áudio e vídeo, isoladamente ou em conjunto, necessitando de métodos e técnicas específicos para curadoria (processos de avaliação, de adição de valor, reformatação, agregação e reúso de dados) e disseminação de recursos digitais à sociedade em rede. Para tanto, torna-se necessário que esses recursos sejam descritos em seus aspectos de mídia e de conteúdo para obtenção de uma documentação condizente com a realidade do domínio, em termos de acesso e recuperação de informações.

Além dos aspectos de curadoria adequada a dados multimídia, o acesso e o consumo de coleções de objetos na rede vislumbram, muitas vezes, a necessidade de integração semântica e disponibilização global, a fim de possibilitar o compartilhamento, a interligação entre vários acervos e o reúso de conteúdos digitais relevantes aos provedores de conteúdo e seus usuários finais. Contudo, constata-se que bases de dados institucionais habitualmente utilizam padrões idiossincráticos de descrição, ressaltando diferentes características a serem representadas em detalhes e diferentes terminologias para descrever seus recursos de informação a partir de uma exigência da própria comunidade e desconsiderando requisitos de interoperabilidade.

Esta pode ser compreendida como a capacidade de diversos sistemas e organizações trabalharem em conjunto para garantir que pessoas, organizações e sistemas computacionais interajam na troca de informações de maneira eficaz e eficiente (LEMOS; MENDONÇA; SOUZA, 2020). Trata-se de uma das principais metas atuais do consórcio W3C, que vem se dedicando ao desenvolvimento de padrões para avançar nessa perspectiva. Assim, grandes desafios são lançados, especialmente no que se refere à integração de bases de dados heterogêneas e sistemas institucionais que já possuem acervos digitalizados na rede, demandando estratégias de busca de soluções inteligentes para a descrição de seus recursos de informação multimídia na Web.

Pesquisas em Ciência da Informação e Ciência da Computação (BERNERS-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001; GUIZZARDI, 2005; SILVA, 2014) têm concentrado seus esforços para empreender melhorias nos sistemas de recuperação da informação, sobretudo quanto à organização e representação da informação, objetivando uma Web de conteúdo semântico e interoperável. Nesse sentido, evidenciam-se estudos sobre padrões de metadados, modelos conceituais, vocabulários controlados e ontologias para o tratamento descritivo e temático de documentos em várias mídias, visando a necessidade de integração semântica e disponibilização global de recursos de informação em rede.

Durante as últimas décadas, surgiram várias iniciativas na produção de ontologias baseadas em *Resource Description Framework* (RDF) e *Ontology Web Language* (OWL) voltadas à descrição dos dados multimídia (LEMOS; SOUZA, 2019), cujos esforços objetivaram transformar padrões de metadados multimídia, como o MPEG-7 *International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission* (ISO/IEC) (SALEMBIER; SMITH, 2001), em formatos semelhantes a ontologias. O padrão é usado para prover um vocabulário rico e comum a recursos multimídia, incluindo descritores primitivos, extraídos da própria mídia e, de alto nível, destinados à descrição semântica de conteúdo da mídia.

Nesta pesquisa, ontologias são vistas como modelos de anotação (LEMOS; SOUZA, 2020) em uma perspectiva de tratamento semântico destinado a dados e metadados envolvidos no processo de representação, o que permite descrever e interligar recursos por meio de qualificadores, incluindo conceitos, instâncias, propriedades e restrições, cujas proposições são asseguradas pela definição de axiomas. O modelo é indicado à anotação semântica de documentos, que Shadbolt, Berners-Lee e Hall (2006) esclarecem ser uma abordagem subjacente aos conceitos preconizados pela Web Semântica, juntamente com sua proposta de dados abertos interligados (do inglês, *Linked Open Data - LOD*) (MACHADO; SOUZA; SIMÕES, 2019), no que tange ao fornecimento de significado à organização da informação por meio de conexões lógicas entre os dados.

Considera-se, portanto, que esforços na construção de ontologias podem ser poupados, tendo em vista a exploração de vocabulários existentes e disponíveis para reúso em comunidades de interesse. A prática de reúso é reconhecida como sendo um importante passo na construção de vocabulários semânticos, incluindo ontologias. Com o reúso de recursos já existentes poupa-se tempo e esforço, ao invés de se começar a construção do zero (SUÁREZ-FIGUEROA; GÓMEZ-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2012). Contudo, surgem desafios na identificação e seleção de uma variedade de vocabulários e ontologias disponíveis e que precisam ser compatíveis com as entidades reais de um domínio específico. Alguns desses desafios seriam: a disponibilização de fontes documentais adequadas, envolvendo as conceituações de ontologias, úteis especialmente aos processos de reúso; os alinhamentos e mapeamentos semânticos, visando à consistência entre os elementos cotejados; a modelagem conceitual condizente com a realidade do domínio; os aspectos de usabilidade na interação com o *software* e os dados; e a manutenção das ontologias envolvidas em processos de reúso.

Abrem-se, desse modo, oportunidades e desafios, para a presente pesquisa, de responder às seguintes questões: *i)* como expressar a estrutura conceitual subjacente à descrição da realidade documental de tipo multimídia? *ii)* qual a estratégia para selecionar e alinhar eficientemente vocabulários e ontologias multimídia concebidos por comunidades distintas para cobrir satisfatoriamente aspectos ontológicos da realidade documental de tipo multimídia? e *iii)* como organizar sistematicamente tipologias de metadados existentes para descrição de conteúdo multimídia diante de variados contextos e necessidades?

Na proposição do preenchimento dessas lacunas, este artigo objetiva apresentar uma proposta de modelagem ontológica de referência multimídia fundamentada em recursos de conhecimento representativos e selecionados por meio de um *ranking* de ontologias candidatas a reúso. O sentido de “referência” é o que caracteriza o modelo como um artefato subjacente a esforços multidisciplinares de pesquisas voltados a modelos e tecnologias para processamento de metadados que se ocupam da anotação multimídia.

As contribuições desta pesquisa vão desde trazer à luz potenciais vocabulários para o domínio de anotação multimídia, incluindo padrões de metadados, ontologias e modelos conceituais subjacentes, até uma proposta bem fundamentada de um modelo conceitual ontológico de descrição de recursos multimídia para domínios diversos em processo de publicação e consumo de seus dados na Web.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi classificada como sendo de natureza qualitativa e quantitativa, em busca do entendimento do que estava por trás do fenômeno investigado, a saber, as *formas de representação de recursos multimídia em rede*. Para o aspecto quantitativo, houve a necessidade do uso de formatos numéricos para mensurações de critérios avaliativos diante de análises de ontologias, que foram pontuadas e classificadas por métodos estatísticos.

Também foi realizado um estudo exploratório, descritivo e explicativo à luz de literatura científica e material empírico específico, o que tornou esta pesquisa bibliográfica e documental.

Para a proposta de modelagem ontológica de referência multimídia, foi necessária a adoção de um guia metodológico atual, testado e validado em diferentes domínios e áreas, e, ainda, que seguisse diretrizes para a construção de ontologias em rede *Linked Open Data*. Para tanto, realizou-se uma revisão na literatura da área de Engenharia de Ontologias, e, em meio a um conjunto de propostas aventadas (SILVA; SOUZA; ALMEIDA, 2008; SUÁREZ-FIGUEROA; GÓMEZ-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2012), selecionou-se o guia *NeOn Methodology*, por dispor de práticas em iniciativas LOD e ser oriundo de *frameworks* metodológicos amplamente aceitos em áreas maduras, como Engenharia de Software e Engenharia do Conhecimento.

A metodologia de engenharia de ontologias *NeOn* abrange nove cenários que sugerem uma série de passos flexíveis para o desenvolvimento de ontologias. Os cenários envolvidos cobrem situações em que ontologias disponíveis em repositórios da Web necessitem, por exemplo, de reengenharia, alinhamento, modularização, localização, suporte em diferentes línguas e culturas, integração com padrões de projeto e recursos não ontológicos, tais como padrões de metadados, tesouros, taxonomias, dentre outros. Dos nove cenários indicados no guia, seis foram selecionados (cenários 1, 2, 3, 5, 6 e 8) a partir de uma adequação de fases de modelagem propositivas na presente pesquisa, conforme abaixo:

- a) Identificação e seleção de recursos ontológicos e não ontológicos no domínio de anotação multimídia: cenário 2 e 3;
- b) Análise e comparação de ontologias multimídia à luz de requisitos previamente propostos: cenário 3;
- c) Seleção de ontologias multimídia adequadas ao reúso de recursos de conhecimento destinados à construção do modelo proposto: cenários 3 e 5;

d) Desenvolvimento de um modelo conceitual baseado em ontologias para o domínio de anotação multimídia: cenários 1, 6 e 8;

Os outros três cenários (4, 7 e 9) não foram considerados na proposição do modelo, porque o cenário 4 indica reengenharia de recursos ontológicos de forma individualizada (por ontologia), isto é, não prevê a reengenharia de um conjunto de recursos ontológicos pós-processo de integração entre eles. O cenário 6 mostrou-se mais adequado à realidade de construção do modelo, por indicar reengenharia após a criação de um novo recurso ontológico. O cenário 7 revela reúso de padrões de projetos de ontologias (do inglês, *Ontology Design Patterns*) disponíveis em repositórios específicos, ou seja, meta-modelos com melhores práticas de desenvolvimento de ontologias em contextos específicos, de modo a auxiliar o ontologista em soluções de modelagem. Apesar de o modelo fazer uso de padrões de projetos (com extensões multimídia) advindos de ontologias de alto nível, não se praticou, a *priori*, busca e reúso de soluções para padrões específicos de modelagem. Finalmente, o cenário 9 compreende casos em que o modelo precisa ser desenvolvido em diferentes linguagens para aplicações multilíngues, não comportando, ainda, características da proposição de modelagem desta investigação.

A partir da determinação dos cenários metodológicos para a presente pesquisa, a primeira subseção descreve os procedimentos metodológicos conduzidos para a identificação, seleção e análise das ontologias para anotação multimídia. Por conseguinte, a segunda subseção descreve os cenários metodológicos empregados na proposição do Modelo Ontológico de Referência Multimídia.

IDENTIFICAÇÃO, SELEÇÃO E ANÁLISE DE ONTOLOGIAS PARA ANOTAÇÃO MULTIMÍDIA

A primeira fase desta investigação foi procedida por uma análise de domínio dotada de fontes documentais, incluindo normas, artigos e bibliotecas de esquemas *Extensible Markup Language* (XML) relacionados a padrões para descrição ou anotação de recursos multimídia na Web de dados. O cenário 2 - *reúso e reengenharia de recursos não ontológicos* foi operacionalizado nessa fase da pesquisa, partindo da obtenção de um conjunto de elementos de parâmetro (SILVA, 2014) fundamentados nos padrões de metadados para descrição de recursos digitais ou multimídia, o MPEG-7 e o Dublin Core. As revisões na literatura, vale ressaltar, evidenciaram que grande parte de ontologias para anotação multimídia é construída seguindo esses padrões de metadados (SILVA; SOUZA, 2014).

Os elementos de parâmetro foram, então, definidos e organizados com base em categorias de metadados multimídia determinadas na atividade de aquisição de conhecimento sobre o domínio, a saber: metadados independentes de conteúdo, metadados dependentes de conteúdo e metadados descritivos de conteúdo. A primeira categoria foi organizada para metadados relacionados à gestão da mídia, incluindo produção, classificação, gestão de direitos a uso e informações técnicas. A segunda categoria foi organizada para metadados de nível baixo ou primitivos, incluindo aspectos visuais (cor, textura e forma), de movimento, de localização e espaço-temporal no conteúdo da mídia, além de aspectos envolvendo processamento de sinais de áudio. A terceira categoria foi organizada para metadados voltados a segmentos de mídia, à anotação de conteúdo semântico (descrição de evento, objeto, agente, lugar e tempo), navegação e acesso, organização de conteúdo em coleções, preferências de uso em relação a conteúdo, e a características de áudio de nível alto, incluindo descritores para tratamento de conteúdo falado.

Desse modo, os elementos de parâmetro foram considerados produto-base da atividade de aquisição de conhecimento sobre o domínio, servindo, portanto, para identificar, analisar e comparar ontologias para anotação multimídia no aspecto de características concernentes a padrões de metadados consolidados nas comunidades de Biblioteca Digital, Web Semântica e Multimídia.

A segunda e a terceira fase foram operacionalizadas pelo cenário 3 - *reúso de recursos ontológicos*, que compreende o reúso de possíveis recursos ontológicos existentes para construção ou aprimoramento de uma rede de ontologias. Os passos metodológicos seguidos foram: *i)* busca por ontologias candidatas a reúso; e *ii)* análise comparativa dos recursos ontológicos selecionados em (*i*), a partir de critérios pré-definidos na pesquisa. Buscou-se, então, partindo das orientações do guia, identificar ontologias para anotação multimídia fazendo um levantamento na literatura e buscas em repositórios da Web Semântica. Após um processo de refinamento diante das ontologias previamente selecionadas para análise, nove ontologias foram escolhidas (LEMOS; SOUZA, 2019), a saber: Media Ontology; M3 Multimedia; *Multimedia Metadata Ontology* (M3O); *Bootstrapping Ontology Evolution with Multimedia Information* (Boemie); *Core Ontology for Multimedia* (COMM); Polysema MPEG-7 MDS; MPEG-7 de Hunter; SmartWeb; e Rhizomik.

A terceira e última fase foi conduzida por uma análise específica e comparativa das ontologias selecionadas, em que seus conteúdos (códigos) e documentações subjacentes foram inspecionados e examinados. Os 17 (dezesete) critérios determinados para analisar e avaliar as ontologias foram, em sua maioria, oriundos do guia, os quais se originaram de casos de uso em diversas experiências de projeto, envolvendo desenvolvimento e reúso de ontologias.

A organização desses critérios ocorreu em quatro dimensões relacionadas ao reúso de ontologias, elucidadas como segue: *i)* esforço de reúso dos recursos: estimativa de custos relacionados ao tempo e à economia necessários ao reúso da ontologia avaliada; *ii)* esforço de entendimento dos recursos: estimativa de esforços necessários ao entendimento do conteúdo da ontologia avaliada; *iii)* esforço de integração dos recursos: estimativa de esforços empreendidos com vistas à integração da ontologia avaliada à ontologia em desenvolvimento; e *iv)* confiabilidade dos recursos: análise da confiança com relação à ontologia avaliada diante de aspectos de tratamento semântico nas declarações (ex. axiomas presentes, recursos de conhecimento utilizados – padrões de metadados –, ontologias de fundamentação), avaliação (ex. testes disponíveis) e projetos renomados de que fazem uso.

O método para obtenção de pontuações para cada ontologia deu-se por média ponderada, abarcando pesos determinados e valores mensurados para os critérios (LEMOS; SOUZA, 2020). Para estes últimos, a escala de valores determinada foi de 0 a 3, correspondendo, na sequência, aos qualificadores (D)esconhecido, (B)aixo, (M)édio e (A)lto. Desse modo, a pontuação resultante para cada ontologia avaliada permaneceu sempre numa escala de 0 a 3, sendo que, para a dimensão relacionada ao esforço de reúso dos recursos, quanto menor o qualificador aplicado ao critério, melhor a avaliação da ontologia, tendo em vista critérios com influência negativa, como custo econômico e tempo requerido na aquisição da ontologia; já para as dimensões esforço de entendimento dos recursos, esforço de integração dos recursos e confiabilidade dos recursos, quanto maior o qualificador, melhor a avaliação da ontologia, considerando critérios com influência positiva que qualificam a ontologia nas respectivas dimensões. Assim sendo, o guia atribui os símbolos (-) e (+) aos pesos para se considerar tais influências na pontuação do *ranking* resultante.

PROPOSIÇÃO DO MODELO ONTOLÓGICO DE REFERÊNCIA MULTIMÍDIA

A proposta do Modelo Ontológico de Referência Multimídia foi subsidiada pelo conhecimento obtido nas análises específicas e comparativas realizadas e pelos recursos de conhecimento ontológicos (ontologias multimídia) e não ontológicos (padrões de metadados multimídia) envolvidos na pesquisa. As ontologias melhor classificadas foram novamente analisadas em suas estruturas de conhecimento a fim de se decidir quais recursos seriam selecionados para reúso.

As decisões de seleção foram determinadas diante de requisitos funcionais e não funcionais, elaborados com base nas constatações resultantes da análise comparativa envolvendo as ontologias candidatas a reúso. Requisitos funcionais são o conjunto de características que reflete a estrutura de conhecimento multimídia da ontologia; já os requisitos não funcionais são associados ao uso da ontologia em termos de usabilidade, confiabilidade, segurança, disponibilidade, manutenibilidade e tecnologias envolvidas. Assim, os cenários 1, 3, 5, 6 e 8 do guia metodológico NeOn são descritos a seguir na forma como foram usados na fase de desenvolvimento da modelagem conceitual.

O cenário 1 - *da especificação à implementação* foi utilizado especialmente para a elaboração da especificação de requisitos entre os quais o modelo conceitual deveria ser capaz de representar, de modo a identificar possíveis problemas que a ontologia deveria conseguir resolver. Os requisitos denominados funcionais foram descritos a partir das categorias de tipos de metadados multimídia determinados na atividade de aquisição de conhecimento, elucidada na subseção anterior. Ademais, o propósito e o escopo do modelo também foram incluídos na especificação do Modelo Ontológico de Referência Multimídia.

Os cenários 3 e 5 - *reúso, alinhamento e combinação de recursos ontológicos* foram considerados quando se definiu o modo de reúso, ou seja, de que forma os recursos ontológicos selecionados seriam reusados.

O guia indica três modos, a saber: *i)* tais recursos são reusados conforme estão, ou seja, sem modificações; *ii)* eles devem passar por um processo de reengenharia, caso necessitem de mudanças (modo incluso no cenário 6); e *iii)* alguns recursos ontológicos devem ser combinados a fim de se obter um novo recurso (modo incluso no cenário 5).

O cenário 5 contemplou um conjunto de mapeamentos que abarca os elementos de interesse das ontologias analisadas (classes, propriedades e axiomas). Esse tipo de informação tornou-se útil à modelagem conceitual quando se necessitou estabelecer arranjos dos recursos de conhecimento ontológicos em grupos coerentes com os requisitos funcionais traçados na pesquisa para, finalmente, estabelecer os mapeamentos semânticos demandados na atividade de modelagem.

O cenário 6 - *reúso, alinhamento, combinação e reengenharia de recursos ontológicos* foi usado na medida em que alguns recursos de conhecimento advindos de ontologias selecionadas para reúso precisaram de mudanças para se ajustarem aos alinhamentos necessários ao modelo conceitual proposto. Outra situação de uso desse cenário ocorreu em vista da necessidade de implementação de regras e restrições por meio de axiomas para garantir a consistência do modelo diante do domínio de anotação multimídia.

Por fim, o cenário 8 - *reestruturação de recursos ontológicos* foi usado para a reorganização da conceituação resultante do mapeamento semântico envolvendo as ontologias selecionadas para reúso. A atividade de reestruturação incluiu remoção de conceitos desnecessários à conceituação, inclusão de novos conceitos e relacionamentos na estrutura e especializações adequadas que contenham em si tais elementos.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A parte central desta seção está na apresentação do produto final da pesquisa correspondente à apresentação da especificação do modelo conceitual baseado em ontologias para o domínio de anotação de recursos multimídia em rede. Assim, a primeira subseção se incube de apresentar o resultado da análise comparativa das ontologias diante de dimensões para reuso que culminou na geração de um *ranking* de ontologias para este propósito; e a segunda subseção apresenta a especificação do Modelo Ontológico de Referência Multimídia fundamentado em recursos ontológicos desse *ranking*.

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ANÁLISE COMPARATIVA NO ASPECTO REÚSO

O reuso de recursos de conhecimento disponíveis para modelar o conhecimento de um domínio é uma prática recomendada pela área de Engenharia de Ontologias (SILVA; SOUZA; ALMEIDA, 2008). Um recurso ontológico abrange, a título de ilustração, ontologias já definidas ou partes de ontologias disponíveis e úteis à resolução de problemas. Orienta-se também inspecionar o conteúdo e a granularidade das ontologias, a fim de verificar o grau de cobertura dos requisitos funcionais especificados na etapa de aquisição de conhecimento.

Alguns aspectos funcionais, como nomes advindos de vocabulários bem estruturados (padrões de metadados, taxonomias, por exemplo) e modularizações de interesse, podem facilitar a extração do conhecimento requerido para reuso. Outro fator importante para a viabilização do processo de alinhamento e combinação de recursos é a linguagem de implementação da ontologia candidata a reuso, que necessita se comprometer ontologicamente com o modelo que está sendo construído para ser suficientemente expressiva na caracterização da conceituação de seu domínio. Nesse sentido, os resultados discutidos a seguir, que implicam dimensões concernentes a reuso, compreendem esse olhar analítico diante das ontologias analisadas.

O quadro 1 busca esclarecer os resultados de análise das nove ontologias candidatas a reuso ao evidenciar a estratificação da avaliação dos dezessete critérios correspondentes em cada dimensão. As pontuações inerentes a cada uma delas também são exibidas.

O gráfico 1 mostra a atuação das ontologias ante às quatro dimensões: esforço de reuso dos recursos, esforço de entendimento dos recursos, esforço de integração dos recursos e confiabilidade dos recursos.

De maneira geral, levando-se em conta as quatro dimensões, a Media Ontology, de acordo com o gráfico 1, manteve-se como a ontologia de qualidade diferenciada em relação às nove analisadas como candidatas a reuso. Acredita-se que, por ser uma proposta oriunda de um grupo de pesquisa do W3C (*Media Annotation Working Group*), especializado em questões de anotação semântica de mídias na Web, a equipe envolvida buscou empreender métricas de qualidade na construção da ontologia.

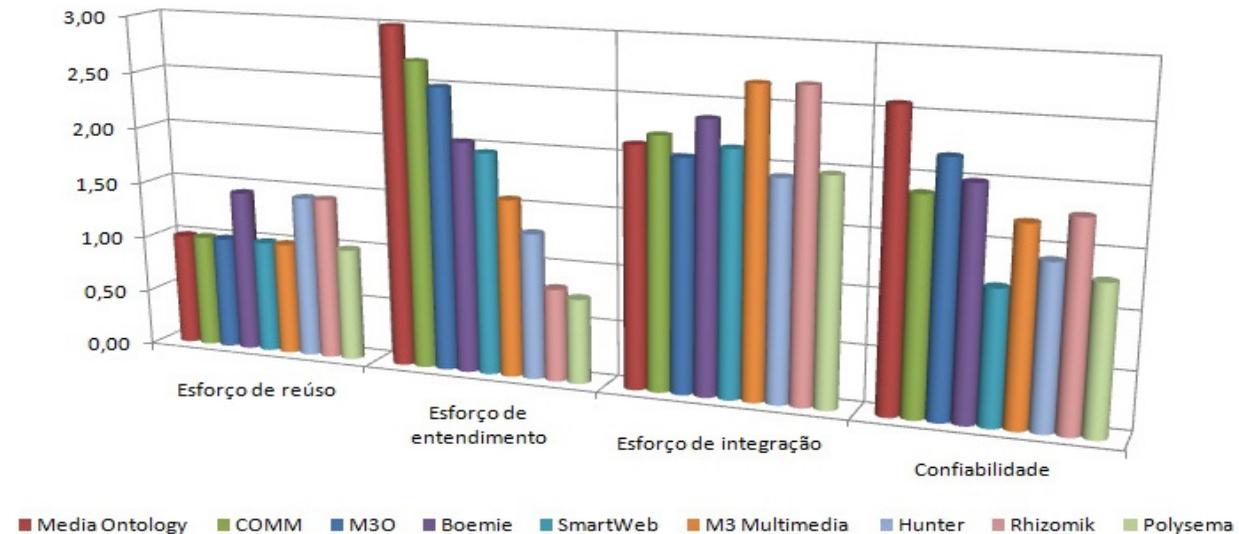
Em contrapartida, a ontologia Polysema mostrou-se a de menor qualidade em aspectos de reuso. Percebe-se que a M3 Multimedia e a Rhizomik apresentaram índices favoráveis bem próximos de esforço de integração. Já a M3O e a COMM, como propostas de modelagem mais ousadas para anotação multimídia, mantiveram-se próximas em relação às pontuações para reuso.

Quadro 1 – Resultado dos critérios avaliados nas ontologias para anotação multimídia

Critérios	Pesos		Valores																	
			Media Ontology		COMM		Boemie		M3 Multimedia		M3O		MPEG-7 Hunter		MPEG-7 Rhizomik		SmartWeb MPEG-7		Polysema MPEG-7	
Esforço de reuso dos recursos																				
Custo econômico	(-)	9	B	1	B	1	B	1	B	1	B	1	B	1	B	1	B	1	B	1
Tempo requerido	(-)	7	B	1	B	1	M	2	B	1	B	1	M	2	M	2	B	1	B	1
			1,00		1,00		1,44		1,00		1,00		1,44		1,44		1,00		1,00	
Esforço de entendimento dos recursos																				
Qualidade da documentação	(+)	8	A	3	A	3	A	3	B	1	A	3	B	1	B	1	M	2	B	1
Disponibilidade de conhecimento externo	(+)	7	A	3	A	3	B	1	B	1	B	1	B	1	B	1	D	0	D	0
Clareza no código	(+)	8	A	3	M	2	M	2	A	3	A	3	M	2	B	1	A	3	B	1
Anotações na terminologia compatibilizada	(+)	5	A	3	A	3	M	2	B	1	A	3	B	1	D	0	A	3	B	1
			3,00		2,71		2,04		1,57		2,50		1,29		0,82		1,96		0,75	
Esforço de integração dos recursos																				
Número de requisitos funcionais cobertos	(+)	10	47	1.18	58	1.45	42	1.05	80	2.00	21	0.53	43	1.08	118	2.95	41	1.03	29	0.73
Adequação à extração de conhecimento	(+)	9	M	2	M	2	A	3	A	3	A	3	M	2	M	2	A	3	M	2
Adequação à convenção de nomes	(+)	5	A	3	A	3	A	3	A	3	M	2	M	2	A	3	A	3	A	3
Adequação à linguagem de implementação	(+)	7	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	M	2	A	3
			2,12		2,21		2,37		2,68		2,04		1,93		2,69		2,14		1,98	
Confiabilidade dos recursos																				
Disponibilidade de testes	(+)	8	A	3	D	0	D	0	D	0	M	2	D	0	D	0	D	0	D	0
Avaliação de testes	(+)	8	A	3	D	0	D	0	D	0	B	1	D	0	D	0	D	0	D	0
Reputação do time de desenvolvimento	(+)	8	A	3	A	3	A	3	A	3	M	2	A	3	A	3	M	2	M	2
Confiabilidade no propósito	(+)	3	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	M	2	M	2	A	3	A	3
Suporte prático	(+)	7	A	3	A	3	A	3	B	1	M	2	M	2	M	2	B	1	B	1
Recursos de conhecimento utilizados	(+)	8	M	2	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3	A	3
Axiomas na terminologia compatibilizada	(+)	6	B	1	M	2	A	3	A	3	A	3	D	0	A	3	D	0	B	1
			2,58		1,88		2,00		1,71		2,19		1,42		1,79		1,17		1,29	
	Pontuação (+)		2,56		2,19		2,12		1,95		2,23		1,53		1,80		1,66		1,35	
	Pontuação (-)		1,00		1,00		1,44		1,00		1,00		1,44		1,44		1,00		1,00	
	Pontuação (=)		1,56		1,19		0,68		0,95		1,23		0,09		0,36		0,66		0,35	

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 1 – Atuação das ontologias nas dimensões para réuso



Fonte: Elaborado pela autora.

O esforço de réuso dos recursos, enquanto dimensão que influencia negativamente o *ranking*, manteve-se estável para a maioria das ontologias (conforme indica o gráfico 1). Dentro dessa dimensão, o critério custo econômico, de forma geral, foi avaliado como baixo pelo fato de o acesso às nove ontologias ter ocorrido de maneira gratuita, por meio de repositórios indicados na literatura ou de *links* apontados por máquinas de busca da Web Semântica. Já o aspecto tempo requerido variou entre baixo e médio.

As ontologias avaliadas com tempo baixo para acesso e abertura no Protégé (editor de ontologias utilizado nas análises) foram prontamente analisadas. Outras foram avaliadas com valor médio em função de alguns impasses no acesso às suas bases de conhecimento. O esforço de entendimento dos recursos é a dimensão que apresenta pontuações mais baixas para as ontologias analisadas.

Contribuíram para essa realidade a Polysema MPEG-7, a Rhizomik, a MPEG-7 Hunter e a M3 Multimedia, em geral, por motivos de escassez de fontes documentais e/ou ausência de anotações, ou mesmo de contribuição semântica, nos elementos de suas estruturas. Tal constatação as desfavorece, no aspecto consumo de tempo para se conseguir entender seus propósitos, escopos e conceituações, visando a alinhamentos consistentes.

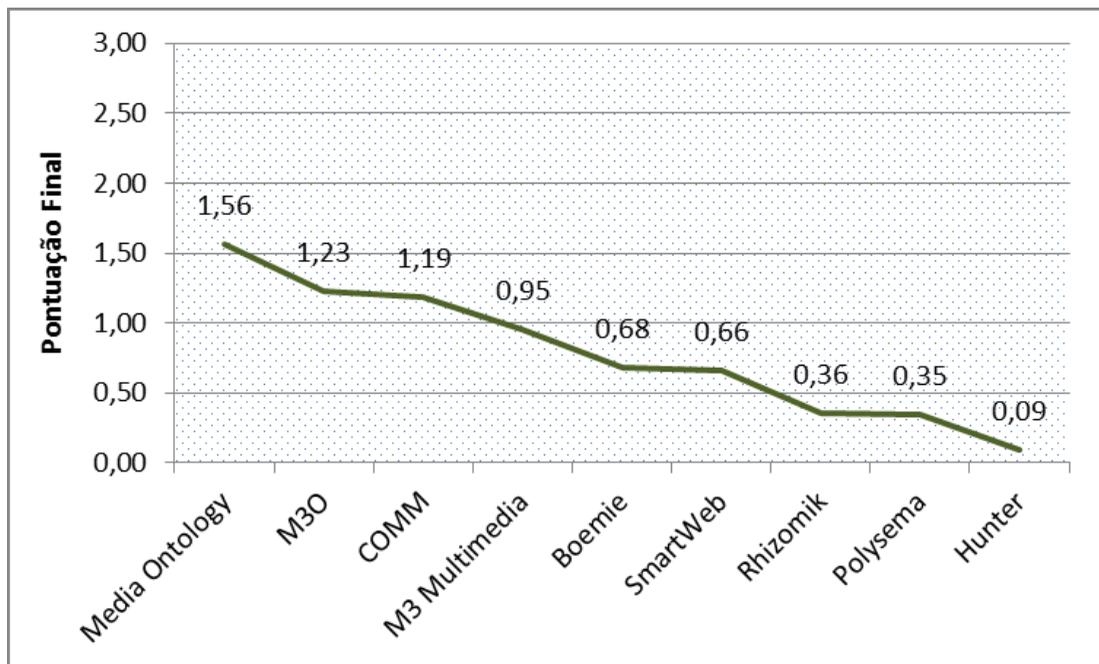
O esforço de integração dos recursos é a dimensão mais bem qualificada em comparação com as dimensões esforço de entendimento e confiabilidade. Percebe-se, no gráfico 1, que as ontologias mantiveram uma pontuação equilibrada, visto que as regras de mensuração para os critérios correspondentes (número de requisitos funcionais cobertos, adequação a extração de conhecimento e adequação a convenção de nomes) se ajustaram ao uso do padrão de metadados MPEG-7 e grande parte das ontologias analisadas tem esse padrão como referência em suas conceituações.

A OWL foi preponderante na avaliação do critério relacionado à linguagem de implementação, por sua semântica formal mapeada em lógica descritiva e com suporte a inferências lógicas, dando, portanto, condições de tratamento a questões voltadas à interoperabilidade sintática e semântica para recursos multimídia. Nesse sentido, a linguagem envolvendo a ontologia multimídia candidata a reúso seria melhor avaliada quando pertencesse à família OWL. A única ontologia que recebeu valor médio para esse critério foi a SmartWeb MPEG-7, por ser representada pela linguagem RDFS (possui limitação de expressividade em seus construtos, se comparada à OWL) em sua versão analisada. Posto isso, as avaliações correspondentes aos critérios nessa dimensão, diante das ontologias, variaram entre médio e alto. Logo, reforça-se que o método aplicado na seleção de ontologias para anotação multimídia a compor o *corpus* desta pesquisa foi bem sucedido para uma dimensão que contempla um aspecto importante relacionado à cobertura de requisitos funcionais.

A confiabilidade dos recursos pode ser considerada uma característica presente na maioria das ontologias analisadas, de acordo com o gráfico 1, em razão das seguintes constatações: *i)* todas possuem uma equipe de desenvolvimento com boa reputação; *ii)* todas são assistidas por entidades importantes no cenário mundial, tais como W3C, *European Commission*, *German Federal Ministry of Education and Research*, universidades europeias conceituadas e renomados centros de pesquisa; e *iii)* grande parte (M3O, COMM, Boemie, M3 Multimedia, Rhizomik) das ontologias se propôs a disponibilizar ricas axiomatizações em suas conceituações, as quais são fundamentadas, na maioria dos casos, em ontologias de alto nível, em padrões de projeto multimídia, e no padrão de metadados MPEG-7.

Finalmente, o gráfico 2 apresenta o *ranking* das ontologias candidatas a reúso, cujo resultado da pontuação final (ver quadro 1) foi obtido por cálculo de média ponderada, contendo em si os critérios com influência positiva e negativa no *ranking*, conforme se explanou na seção Metodologia.

Gráfico 2 – *Ranking* das ontologias candidatas a reúso



Fonte: Elaborado pela autora.

ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ONTOLÓGICO DE REFERÊNCIA MULTIMÍDIA

A especificação de requisitos foi o ponto de partida para a proposta do modelo conceitual envolvendo ontologias para anotação multimídia. *A priori*, as definições necessárias para a especificação de requisitos seriam o propósito do Modelo Ontológico de Referência Multimídia e o seu escopo. O propósito do modelo abrange a intenção de seu uso, os possíveis cenários que demandam o uso e os usuários que irão utilizá-lo. O escopo vai incluir um conjunto de requisitos funcionais previamente determinados.

O propósito do Modelo Ontológico de Referência Multimídia é representar uma conceituação consensual e compartilhada por uma determinada comunidade para organização semântica de anotações de recursos multimídia em rede. Logo, o modelo tem a intenção de promover enriquecimento de variados tipos de metadados multimídia por meio de uma estrutura informacional de alto nível ontológico que possa servir, por exemplo, como solução de agregação de *datasets* multimídia em LOD, viabilizando interoperabilidade a nível sintático e semântico entre diversas instituições e seus sistemas de informação. Vale ressaltar que o sentido de consensual e compartilhado é o que caracteriza o modelo como um objeto de referência subjacente a esforços de pesquisas voltados a modelos e tecnologias para processamento de metadados multimídia.

O modelo conceitual poderia ser usado em sistemas de informação voltados a instituições de cultura, como arquivos, bibliotecas, museus, centros de documentação e projetos de memória, cujos usuários consomem, interpretam, manipulam e geram conteúdos multimídia nos acervos que, atualmente, se encontram digitalizados e acessíveis em portais ou repositórios na Web. Catalogadores é outra categoria de usuários que exerce um papel importante na associação de anotações em recursos multimídia, principalmente em espaços de conhecimento dinâmico que incluem os sistemas de bibliotecas digitais.

Por fim, mas sem esgotar as possibilidades de uso, portais de notícias das mais variadas naturezas necessitam de métodos eficientes para organizar conteúdos multimídia e transmiti-los de maneira inteligente a várias tipologias de usuários.

O escopo do modelo foi especificado por meio de requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF) importantes à proposição de uma arquitetura abrangente para a modelagem de metadados destinados à representação de recursos multimídia a qualquer domínio de conhecimento. Os requisitos elencados são comentados a seguir:

- a) (RF) Considerar o conteúdo e a realização da mídia em várias modalidades, tais como áudio, imagem, texto, modelo 3D e vídeo: a separação entre objetos de informação e suas realizações é importante, pois alguns metadados independentes de conteúdo, como tamanho do arquivo ou localização da mídia na Web, são comumente aplicados à realização da informação; já os metadados descritivos de conteúdo multimídia buscam descrever a mensagem a ser transmitida para o consumidor do conteúdo. Portanto, esta separação torna-se relevante no sentido de fornecer uma distinção clara entre a semântica do conteúdo e o recurso de mídia.
- b) (RF) Cobrir metadados independentes, dependentes e descritivos de conteúdo: esquemas voltados à descrição multimídia devem contemplar aspectos de gerenciamento e administração de recursos digitais; aspectos primitivos para metadados visuais e de áudio; aspectos relacionados ao conteúdo da mídia, incluindo decomposição de tipos de mídia e suas localizações, associação de conteúdo da mídia a entidades semânticas veiculadas (oriundas de ontologias de domínio), como, a título de ilustração, um rosto de uma pessoa retratado em uma imagem; além de aspectos vinculados à personalização de conteúdo para facilitar navegação, acesso e interação de usuários em relação ao consumo de conteúdo.

- c) (RNF) Possuir uma ontologia de alto nível como referência: ontologias de alto nível têm sido denominadas “Ontologias de Fundamentação” (do inglês, *Foundational Ontologies*) (GUIZZARDI, 2005), as quais descrevem conceitos bastante gerais, tais como, espaço, tempo, matéria, objeto, evento, agente, etc., e são consideradas sistemas de categorias filosoficamente bem empregadas e independentes de domínio. O seu emprego beneficia semanticamente a estrutura taxonômica central da ontologia quando esclarece o significado pretendido sobre os termos, apoiando, por exemplo, a integração de instâncias do conteúdo da mídia com ontologias de domínios específicos.
- d) (RNF) Ser fundamentado em padrões multimídia estendidos de padrões de projeto de ontologias (GANGEMI; PRESUTTI, 2009): ameniza os desafios impostos na atividade de reúso com visualizações diagramáticas aceitáveis e memorizáveis para um conjunto específico de questões de competência (problema e sua solução). Algumas ontologias para anotação multimídia utilizam padrões de projeto para organização genérica de entidades e relacionamentos subjacentes ao domínio multimídia, como anotação e decomposição.
- e) (RNF) Considerar ontologias bem colocadas em um *ranking* produzido a partir de critérios bem fundamentados: uso de uma metodologia madura, robusta e eficiente para análise e avaliação criteriosa de ontologias para anotação multimídia.
- f) (RNF) Assegurar interoperabilidade em relação a conteúdo multimídia na Web: garante que o significado intencionado da semântica capturada possa ser compartilhado entre diferentes aplicações no escopo da Web Semântica. Além do compartilhamento semântico de conteúdo multimídia, o modelo deve prever meios de transmissão em alguma sintaxe acordada por uma comunidade, que, nesse caso, seria por meio de linguagens da Web Semântica como RDF/OWL, a título de ilustração.
- g) (RNF) Possuir uma arquitetura extensível em relação à construção de uma ontologia multimídia abrangente: considerando que uma ontologia está sempre em evolução, a inclusão de novos conceitos deve ser sempre prevista na conceituação com característica extensível. A extensibilidade é assegurada na medida em que padrões de projeto e ontologias de alto nível conseguem, através das metacategorias, ampliar a possibilidade de inserção de novos conceitos sem precisar modificar o modelo central subjacente.

A partir do *ranking* e das constatações alcançadas na análise comparativa, tornou-se possível selecionar e justificar os recursos ontológicos apropriados a reúso com base nos requisitos delineados anteriormente. As ontologias que melhor se ajustaram à proposição do Modelo Ontológico de Referência Multimídia foram a *Media Ontology* (1,56), a *M3O* (1,23), a *COMM* (1,19) e a *M3 Multimedia* (0,95).

Dado que o Modelo Ontológico de Referência Multimídia deve ser fundamentado em uma ontologia de alto nível, bem como em padrões de projeto multimídia, e, ainda, tratar diferenças semânticas entre o conteúdo e a realização da mídia, a M3O foi eleita como a ontologia que mais se adéqua a esses requisitos. A escolha se justifica pelo fato de a arquitetura da conceituação da M3O ser fundamentada na ontologia de alto nível DOLCE+DnS Ultralight (DUL) e em três padrões de projeto referenciados por esta, a saber: *Description and Situation* (DnS), *Information and Realization Pattern* e *Data Value Pattern*.

Os padrões multimídia da M3O são estendidos do padrão *Description and Situation*, contemplando *AnnotationPattern* (padrão de anotação), *DecompositionPattern* (padrão de decomposição) e *CollectionPattern* (padrão de coleção). Os seus diagramas de projeto são facilmente memorizáveis pela simplicidade de seus esquemas com poucas classes e relações, o que viabiliza o entendimento do raciocínio de modelagem empregado nas conceituações.

Além disso, os três padrões multimídia (anotação, decomposição e coleção) atuam sob a semântica especificada no padrão *Information and Realization* que representa a distinção entre objetos de informação e realizações de informação.

A Media Ontology é a ontologia recomendada para os *metadados independentes de conteúdo*, pelo fato dessa ontologia possuir um índice de cobertura satisfatório para essa categoria de metadados (em relação a outras ontologias analisadas), com destaque para descritores alinhados com o padrão Dublin Core.

As ontologias COMM e M3 Multimedia oferecem descritores que se alinham bem aos *metadados dependentes de conteúdo*, úteis quando do processamento computacional de dados digitais para geração automática de metadados. Ambas apresentaram índices bem próximos para cobertura visual, em destaque para descritores envolvendo cor, textura, forma e localização de regiões de interesse. Metadados para descrever características 3D, por exemplo, podem ser encontrados nas duas ontologias, especialmente nos aspectos visuais relacionados à forma, visto que ambas se fundamentam no padrão MPEG-7 para descrição de conteúdo multimídia. O padrão MPEG-7 contempla descritores para características tridimensionais de objetos, como simetria, circularidade, localização de eixos, tamanho e orientação de segmentos consecutivos de bordas, pontos de curvaturas e ângulos de curvas. Os recursos de conhecimento relacionados aos metadados de áudio podem ser selecionados da M3 Multimedia pelo fato desta ter praticado reuso tanto dos metadados visuais quanto dos de áudio da ontologia VDO Boemie.

Os *metadados descritivos de conteúdo* voltados à semântica são, geralmente, ligados a instâncias de ontologias de domínio cujos rótulos semânticos são organizados na estrutura taxonômica de uma ontologia de fundamentação.

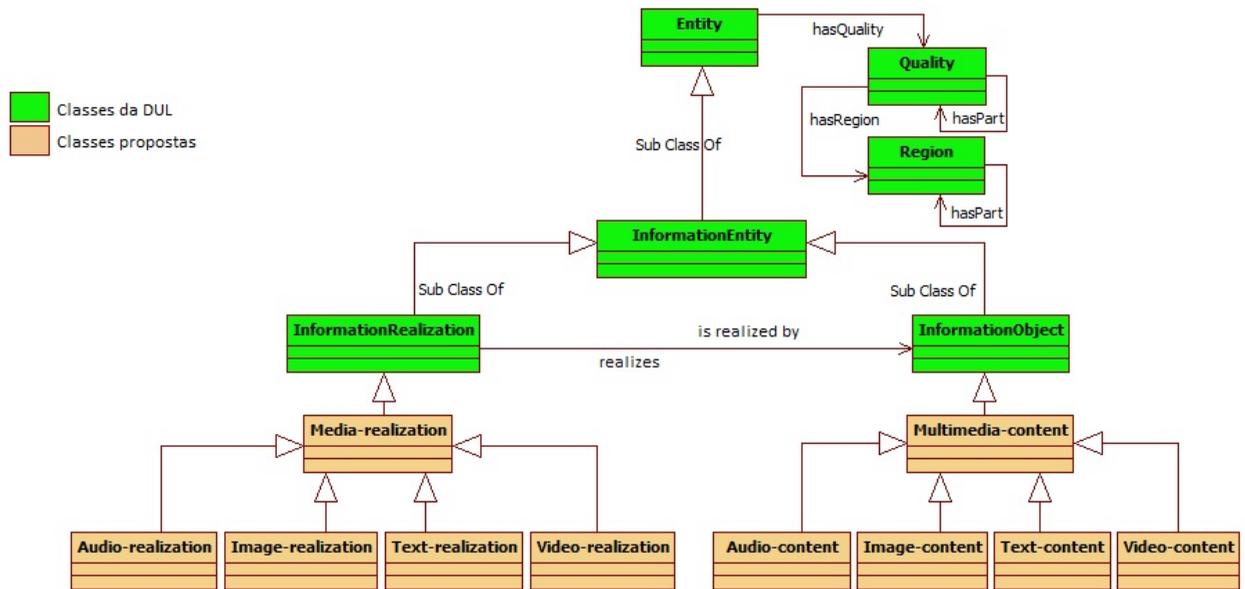
Como a M3O se integra à ontologia de fundamentação DUL, esta consegue cumprir o papel de organizar rótulos semânticos advindos de ontologias de domínios específicos em entidades como evento, objeto, tempo, lugar, etc, e, ainda, tratar de seus relacionamentos. A M3 Multimedia cobre propriedades para aspectos de navegação e acesso (personalização de conteúdo), descritores de áudio com características de alto nível (conteúdo falado, por exemplo), e descritores comuns para anotação de segmentos.

Torna-se relevante assinalar também que a M3O, por possuir uma ontologia de alto nível como referência e, ainda, ser fundamentada em padrões multimídia estendidos de padrões de projeto de ontologias, possui todas as características que asseguram o atendimento aos requisitos não funcionais delineados, como tratamento de diferentes níveis de granularidade, interoperabilidade, separação de interesses e extensibilidade. Uma vez realizados os alinhamentos pré-estabelecidos com os requisitos, foi possível propor a organização semântica dos recursos de conhecimento trabalhados na pesquisa em arranjos ou agrupamentos, incluindo: i) tipos de mídia e suas realizações envolvidas no contexto multimídia; e ii) categorias específicas de metadados multimídia (advindas especialmente do padrão MPEG-7) e suas respectivas classes ontológicas, organizadas por categoria de metadados independentes, dependentes e descritivos de conteúdo.

No primeiro arranjo (figura 1), os tipos de mídia e a suas realizações foram agrupados nas classes conceituais nomeadas, respectivamente, *Multimedia-content* e *Media-realization*. Tais classes foram então generalizadas para as classes da DUL (ontologia de fundamentação da M3O) correspondentes a *Information object* e a *Information realization*, respectivamente. Novas especializações de mídias podem ser concebidas para aplicações específicas, dada a natureza extensiva do modelo.

Os quadros 2 e 3 apresentam os demais arranjos propostos para organizar os recursos de conhecimento diante dos tipos de metadados multimídia trabalhados na pesquisa.

Figura 1 – Classes de entidades centrais do Modelo Ontológico de Referência Multimídia



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 2 – Arranjos para os tipos de metadados independentes e dependentes de conteúdo

Metadados Independentes de Conteúdo		
Ontologia Media Ontology		
Categoria de Metadados	Classe na ontologia	Descrição da classe
Criação e produção da mídia	Media_Creation (*)	Descreve características envolvendo a criação do conteúdo da mídia e de recursos a ele associados.
Classificação da mídia	Media_Classification (*)	Descreve características destinadas à classificação da mídia, tais como gênero, assunto, propósito, idioma, dentre outras.
Informação da mídia	Media_Information (*)	Descreve os meios de armazenamento contemplando formato, compressão e codificação do conteúdo.
Uso da mídia	Media_Usage (*)	Descreve características que refletem direitos de uso, registro e disponibilidade de uso da mídia.
Metadados Dependentes de Conteúdo		
Ontologia COMM		
Categoria de Metadados	Classe na ontologia	Descrição da classe
Visuais	structured-data-parameter. visual-descriptor-parameter	Descreve características visuais primitivas para cor, textura, forma e movimento.
Cor	.color- descriptor-parameter	Descreve vários descritores e parâmetros de apoio na representação de diferentes aspectos de características envolvendo cor.
Textura	.texture-descriptor-parameter	Descreve aspectos importantes na revelação de características tácteis, de profundidade e orientação de superfícies para uma imagem.
Forma	.shape-descriptor-parameter	Descreve características relacionadas a arranjo espacial de pontos (pixels) que pertencem a um objeto ou uma região. Os descritores podem ser agrupados em classes 2D ou 3D.
Movimento	.motion-descriptor-parameter	Descreve características espaciais e temporais capturadas pelo movimento de câmera, objeto em movimento, ou ambos.
Localização	localization-descriptor-parameter	Descreve localização para regiões de interesse em domínios espacial e espaço temporal.

(Continua)

Quadro 2 – Arranjos para os tipos de metadados independentes e dependentes de conteúdo

(Conclusão)

Ontologia M3 Multimedia		
Categoria de Metadados	Classe na ontologia	Descrição da classe
Áudio	LL_Audio_Descriptor	Descreve descritores primitivos envolvendo características espectrais, paramétricas e temporais para descrever sinais e arquivos de áudio.
Base Espectral	.Spectral_Basis_Descriptor	Descreve projeções de baixa dimensionalidade de um espaço espectral de alta dimensão para ajudar na compacidade e identificação.
Timbre Espectral	.Spectral_Timbral_Descriptor	Descreve características do timbre relacionadas ao espectro do sinal.
Timbre Temporal	.Temporal_Timbral_Descriptor	Descreve características temporais de segmentos de áudio; úteis especialmente para descrever características do timbre de instrumentos musicais.
Paramétricos de Sinal	.Signal_Parameter_Descriptor	Descreve sinais periódicos ou quase periódicos.
Espectral Básico	.Basic_Spectral_Descriptor	Descreve descritores derivados da análise de frequência do sinal.
Básico	.Basic_Descriptor	Descreve descritores básicos de uso geral e aplicáveis a todos os tipos de sinais.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 3 – Arranjos para os tipos de metadados descritivos de conteúdo

Metadados Descritivos de Conteúdo		
Ontologia M3 Multimedia		
Categoria de Metadados	Classe na ontologia	Descrição da classe
Elementos comuns para segmentos	Segment_Label (*)	Descreve elementos comuns para anotação de segmentos, tais como aspectos semânticos abstraídos do conteúdo, local de acesso, criador, informação da mídia e licença de uso.
Navegação e acesso	Navigation_Access (*)	Descreve aspectos de características que facilitam a navegação e o acesso a conteúdo multimídia, a exemplo dos sumários.
Áudio de alto nível	HL_Audio_Descriptor	Descreve canonicamente um som com certo grau de generalidade, incluindo descritores voltados à cobertura de domínios específicos.
Conteúdo falado	.Spoken_Content_Descriptor	Descreve detalhes das palavras faladas dentro de um fluxo de áudio.
Ontologia M3O		
Categoria de Metadados	Classe na ontologia	Descrição da classe
Organização de objetos digitais em coleções	CollectionPattern	Descreve características de coleções de entidades de informação com propriedades comuns.
Segmentos de mídia	DecompositionPattern	Descreve a estrutura de conteúdo multimídia em termos de segmentos, tais como quadros, regiões em movimento, regiões estáticas e faixas de áudio.
Semântica de conteúdo	DUL:Entity	Descreve objetos, eventos e noções do mundo real que podem ser abstraídos do conteúdo multimídia.
Padrão de metadados MPEG-7		
Categoria de Metadados	Classe na ontologia	Descrição da classe
Segmento temporal	Temporal_Segment (*)	Descreve um conjunto de características temporais relacionadas à decomposição de segmentos para conteúdo de mídias específicas, tais como vídeo, áudio, cena, audiovisual e região em movimento.
Segmento espacial	Spatial_Segment (*)	Descreve um conjunto de características espaciais relacionadas à decomposição de segmentos para conteúdo de mídias específicas, tais como imagem 2D, imagem 3D e região em movimento.
Segmento espaço-temporal	Spatio_Temporal_Segment (*)	Descreve um conjunto de características espaço temporal relacionadas à decomposição de segmentos para conteúdo de mídias específicas, tais como região em movimento e região audiovisual.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada ontologia envolvida no reúso, bem como para alguns conceitos advindos do padrão MPEG-7, foram mapeadas (ou propostas) classes conceituais correspondentes. Salienta-se que a nomenclatura das classes foi mantida conforme a sua origem ontológica. Já as classes propostas foram nomeadas seguindo convenções terminológicas subjacentes aos casos de uso pesquisados. Por fim, o símbolo (*) indica uma nova classe para o modelo.

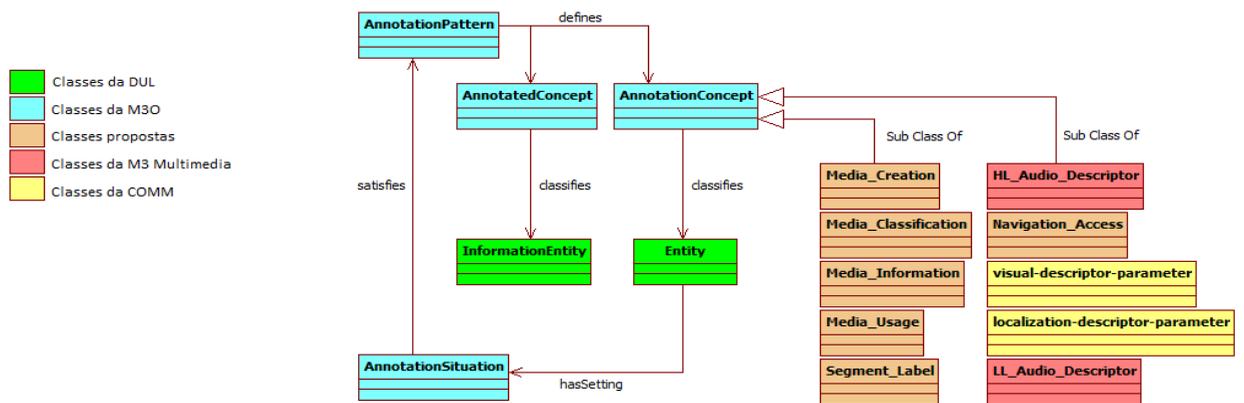
As ontologias que apresentaram modelagens baseadas em padrões (como a COMM e a M3O) já possuíam agrupamentos formais e coerentes (proporcionados pelos axiomas) representados em classes conceituais. Já as ontologias que apresentaram modelagens centradas em relações e atributos (como a Media Ontology) tiveram suas propriedades agrupadas em classes conceituais. Para tais casos, tornou-se necessária a criação de axiomas para o tratamento dos agrupamentos, no sentido de se declarar formalmente os descritores pertencentes a cada categoria de metadados, como, por exemplo, a classe “Media Creation”, proposta no modelo (indicada no quadro 2), que deveria possuir algum título, um local de acesso ou uma data. Após a proposição dos arranjos envolvendo os recursos de conhecimento da pesquisa, tornou-se possível efetuar o mapeamento semântico das classes ontológicas indicadas nos quadros 2 e 3 para os padrões de projeto multimídia da M3O (*AnnotationPattern*, *DecompositionPattern* e *CollectionPattern*), conforme se apresenta nos diagramas de classes elucidados a seguir.

Vale reassaltar que, para fins de melhor visualização e entendimento, o Modelo Ontológico de Referência Multimídia foi segmentado em três partes associadas aos padrões de projeto multimídia subjacentes à conceituação proposta. Os diagramas apresentam classes de âmbito mais genérico e não expõem, portanto, classes específicas, por razões de simplificação na forma de visualização dos mesmos.

Na M3O, um *AnnotatedConcept* classifica uma *InformationEntity*, que é o recurso de informação a ser anotado ou o sujeito da anotação, e cada item de metadados é representado por uma *Entity*, a qual é classificada por um *AnnotationConcept*. Os mapeamentos se sucederam a partir dessa lógica conceitual, que descreve uma entidade de informação (que pode ser um objeto e uma realização da informação) e os metadados que participam do processo de anotação. As classes (oriundas de agrupamentos ou mapeadas das ontologias correspondentes) referentes aos metadados multimídia foram especializadas na classe *AnnotationConcept*, que atribui às entidades de dados o papel de anotação e que especifica a sua interpretação como metadados.

O diagrama exibido na figura 2 apresenta o mapeamento semântico para o padrão de anotação ora descrito.

Figura 2 – Classes de entidades de anotação do Modelo Ontológico de Referência Multimídia



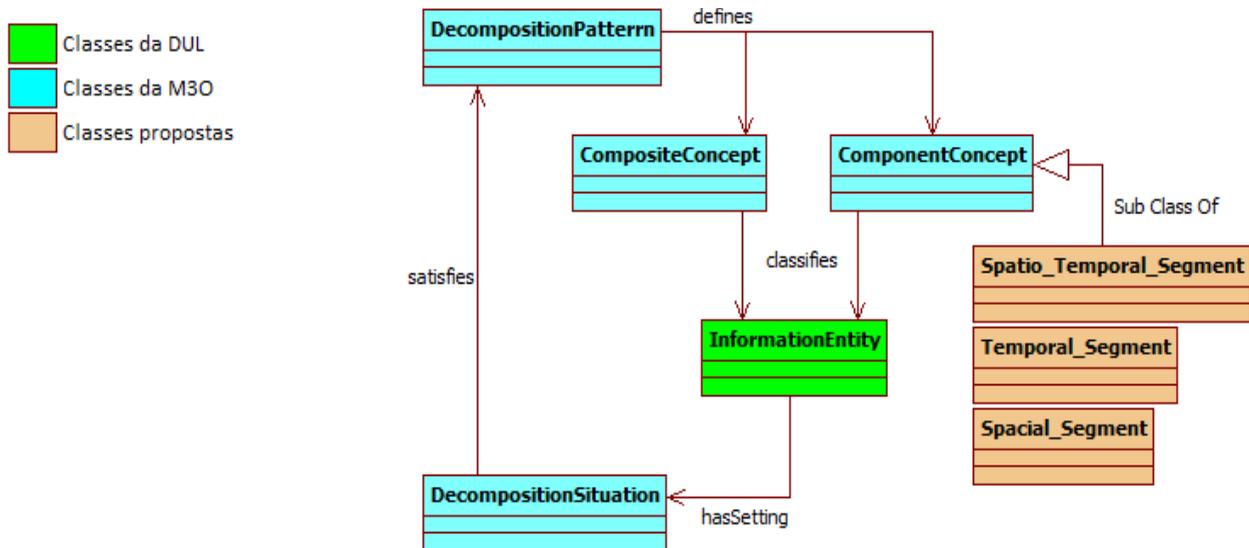
Fonte: Elaborado pela autora.

Os mapeamentos que abrangem o padrão *DecompositionPattern* são assegurados pelas classes de tipos de mídia alinhadas com as entidades de informação da DUL, conforme se apresentou na figura 1. Assim, um *CompositeConcept* faz o papel da mídia envolvida na decomposição e o *ComponentConcept* faz o papel dos segmentos de mídia resultantes da decomposição. No caso de *CompositeConcept*, o emprego de declarações do tipo *owl:disjointWith* para restringir a participação de instâncias de tipos de mídia em classes indevidas torna-se crucial, como ilustra um *Audio-content*, que é disjuncto de *Video-content* e de *Image-content*. Já para *ComponentConcept*, as classes propostas para os tipos de segmentos resultantes de um processo de decomposição foram especializadas como subclasses de *ComponentConcept* nomeadas, *TemporalSegment*, *SpatialSegment* e *SpatioTemporalSegment*, representando, respectivamente, características de dimensões temporais, espaciais e espaço-temporais desses segmentos. Para tais classes, torna-se relevante a modelagem de axiomas para impor restrições sobre os tipos de segmentos que formam decomposições válidas para conteúdos que contém uma mídia em específico.

Exemplo disso, seria um segmento correspondente a uma região em movimento (especializado da classe de componente *SpatioTemporalSegment*) ser classificado somente no tipo de mídia vídeo; além de suas localizações serem endereçadas apenas às classes de anotação concernentes a metadados de localização visual e de tempo. Observa-se, desse modo, a participação do padrão de anotação nas descrições dos segmentos resultantes. A classe proposta para classificar entidades com papéis de metadados comuns para segmentos foi nomeada *Segment_Label*, conforme mostrado na figura 2, que pode comportar, inclusive, rótulos semânticos (ou instâncias) advindos de ontologias de domínio numa situação de anotação de conteúdo semântico. Para tais entidades, a ontologia de fundamentação DUL se incumbe de organizar as suas naturezas semânticas por meio das classes de alto nível, como objeto, evento, agente, tempo e lugar.

O diagrama de classes da figura 3 apresenta o mapeamento semântico para o padrão de decomposição ora descrito.

Figura 3 – Classes de entidades de decomposição do Modelo Ontológico de Referência Multimídia



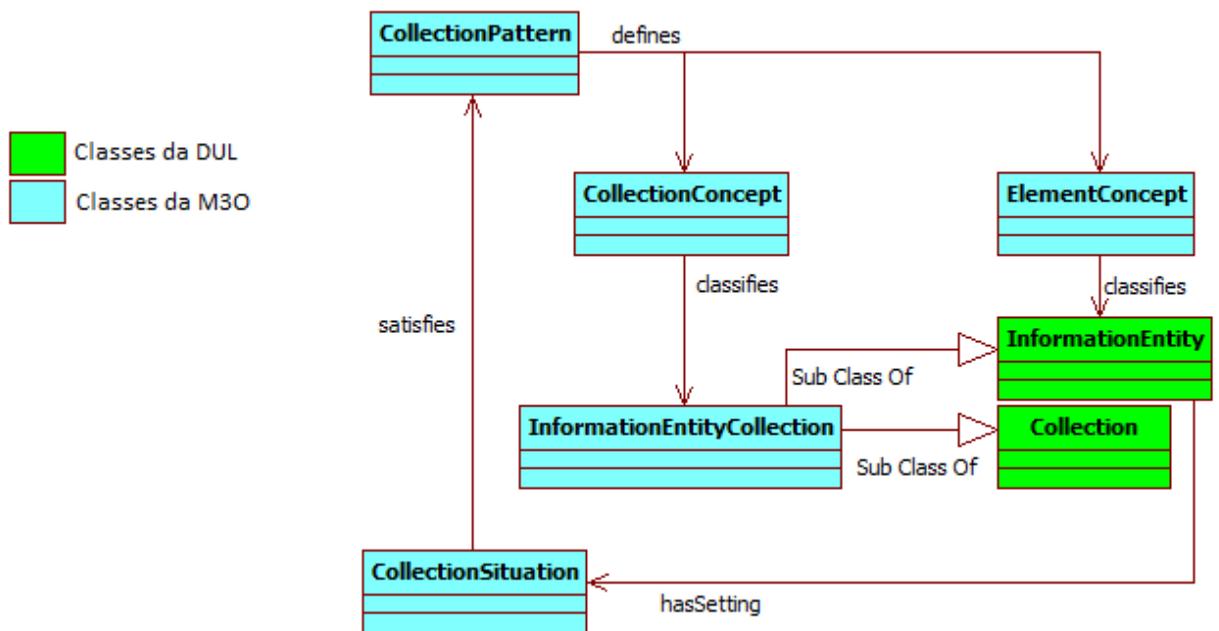
Fonte: Elaborado pela autora.

Finalmente, o padrão multimídia para coleção da M3O permite representar coleções de entidades de informação com propriedades comuns por meio do *CollectionPattern*, que apoia a criação colaborativa de coleções, levando em consideração a fonte ou origem das entidades de informação envolvidas. Os principais conceitos do padrão de coleção estabelecem especializações com os padrões de projeto da DUL.

A classe *CollectionPattern* define que existe exatamente um *CollectionConcept*, que classifica uma *InformationEntityCollection*, que, por sua vez, é uma coleção de entidades de informação. O *AnnotationPattern* interage no sentido de prover classes de metadados multimídia às *InformationEntityCollection*.

O diagrama de classes da figura 4 apresenta o mapeamento semântico para o padrão de coleção ora descrito.

Figura 4 – Classes de entidades de coleção do Modelo Ontológico de Referência Multimídia



Fonte: Elaborado pela autora.

Uma vez que os mapeamentos semânticos tenham sido finalizados, recomenda-se as seguintes tarefas baseadas em metodologias de engenharia de ontologias operacionalizadas no decorrer da pesquisa: i) remoção de conceitos desnecessários na conceituação da ontologia resultante, a fim de se evitar uma taxonomia extensa e com conceitos ambíguos; ii) documentação clara e precisa de todos os elementos ontológicos constituintes; e iii) validação da taxonomia para verificar a consistência da ontologia resultante.

Para assegurar que a modelagem do domínio possa ser realizada de maneira satisfatória, recomenda-se a participação de especialistas que lidam com arquivos multimídia. Profissionais de Biblioteconomia e Ciência da Informação, por exemplo, são especialistas em catalogação descritiva e indexação de recursos de informação e podem contribuir para o estabelecimento de acordos sobre metadados específicos para cada entidade de informação envolvida na especificação do modelo.

Profissionais especialistas em visão computacional, processamento de imagens e sinais de áudio podem contribuir nas decisões de modelagem concernentes a metadados dependentes de conteúdo, os quais são altamente subordinados ao conhecimento técnico de tais áreas. Desse modo, o ontologista pode se ocupar, principalmente, de tarefas relacionadas à organização semântica do sistema de informação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Modelo Ontológico de Referência Multimídia traz inovações e avanços ao campo da Ciência da Informação, especialmente à área de Catalogação Descritiva em ambientes digitais juntamente com o emprego de vocabulários semânticos na representação consistente de conteúdos associados a objetos digitais ou multimídia em rede. Nesse sentido, evidencia-se a evolução do conceito “metadados” para anotações semânticas cujo arcabouço teórico e conceitual encontra-se nos princípios da Web Semântica e seu conceito mais recente de *Linked Open Data*.

O modelo proposto foi construído a partir do uso do guia *Neon Methodology* que se mostrou robusto e eficiente na explicitação das diferentes dimensões e variabilidades na análise dos recursos de conhecimento identificados na literatura e em repositórios da Web Semântica. A análise e comparabilidade de vocabulários semânticos promoveram as condições necessárias para a seleção e o reúso de recursos de conhecimento apropriados a representar uma estrutura abrangente capaz de modelar variados tipos de metadados (independentes, dependentes e descritivos de conteúdo) no intuito de organizá-los semanticamente para fins de anotação de recursos multimídia. Assim sendo, características relevantes que podem e devem ser descritas para melhor recuperação de recursos multimídia advindas de padrões ISO, como o MPEG-7 e o Dublin Core, agregadas a uma camada semântica dos dados e metadados são benéficas, em tese, almejadas pelo uso do Modelo Ontológico de Referência Multimídia na organização da informação em ambientes digitais diversos.

Somado a isso, o modelo enseja descrições padronizadas e livres de ambiguidade para os itens constantes nas bases de dados institucionais, o que as torna interoperáveis e, conseqüentemente, mais adequadas a procedimentos de integração de dados heterogêneos. Nesse sentido, o modelo pode viabilizar a entrada dessas instituições na rede LOD com o propósito de publicização de seus recursos digitais ou multimídia expressos em conceitos e relacionamentos ontológicos de alto nível, permitindo, portanto, o compartilhamento e a ligação entre vários *datasets* multimídia na Web.

Com relação às três questões que se delinearam na presente pesquisa, o Modelo Ontológico de Referência Multimídia conseguiu respondê-las quando empregou, em sua estrutura central, uma ontologia conceitualista baseada em aspectos cognitivos, filosóficos e linguísticos, que fornecem metacategorias para descrição formal de eventos, objetos, tempo, espaço, dentre outras, responsáveis por organizar semanticamente conteúdos advindos de ontologias de domínios específicos. Nesse viés, a semântica formal oriunda da linguagem de representação OWL contribui sobremaneira para o nível de abrangência da estrutura conceitual proposta, em que se busca descrever qualquer aspecto relacionado a dado multimídia. A abrangência é alcançada pela utilização de princípios da engenharia de ontologias, a qual sugere o emprego de ontologias de fundamentação e padrões de projeto de conteúdo ontológico. Desse modo, o Modelo Ontológico de Referência Multimídia busca viabilizar sua ligação com ontologias de domínios específicos por meio de definições axiomatizadas de conceitos de alto nível, oriundos da ontologia de fundamentação *DOLCE+DnS Ultralight*, e seus padrões de projeto *Description and Situation, Information and Realization* e *Data Value*, usados para a organização genérica de entidades associadas a conteúdo multimídia, como anotação, decomposição e coleção. Assim sendo, a estrutura taxonômica central do modelo proposto propicia a solução da primeira questão de pesquisa, que é saber *como expressar a estrutura conceitual subjacente à descrição da realidade documental de tipo multimídia*.

A segunda questão, que corresponde a saber *qual a estratégia para selecionar e alinhar eficientemente vocabulários e ontologias multimídia concebidos por comunidades distintas, de modo a cobrir satisfatoriamente aspectos ontológicos da realidade documental de tipo multimídia*, é solucionada pelo *ranking* obtido a partir de uma avaliação criteriosa de dimensões concernentes a reúso de ontologias, o que assegurou a seleção de recursos de conhecimento adequados para a integração na proposta de conceituação do Modelo Ontológico de Referência Multimídia.

A terceira questão da pesquisa, investigar *como organizar sistematicamente tipologias de metadados existentes para descrição de conteúdo multimídia diante de variados contextos e necessidades*, foi solucionada pela cobertura de requisitos funcionais proporcionada pelo modelo ontológico, embasada em categorias de metadados (independentes, dependentes e descritivos de conteúdo) que, por sua vez, buscam ampliar e enriquecer os pontos de acesso para melhorar a gestão, a organização e a recuperação de objetos digitais em variados contextos e conjunturas.

Como desdobramentos de trabalhos futuros, pretende-se validar o Modelo Ontológico de Referência Multimídia proposto em estudos de integração de acervos multimídia disponíveis na rede LOD e, a partir dessa integração, implementar e testar várias consultas com mecanismos de inferências úteis, a fim de se obter resultados mais conclusivos. Por fim, esse trabalho inaugura uma profícua linha de pesquisa, a qual se pretende dedicar nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

- ADJEROH, D. A.; NWOSU, K. C. Multimedia database management: requirements and issues. *IEEE Multimedia*, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 24-33, July/Sept 1997. DOI: <https://doi.org/10.1109/93.621580>.
- BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. *Scientific American*, [s.l.], v. 284, n. 5, p. 34-43, May. 2001. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26059207>. Acesso em: mar. 2021.
- GANGEMI, A.; PRESUTTI, V. Ontology design patterns. In: STAAB, S.; STUDER, R. (ed.). *Handbook on ontologies*. Berlin: Springer, 2009. p. 221-243.
- GUIZZARDI, G. *Ontological foundations for structural conceptual models*. 2005. Thesis (Telematics and Information Technology PhD) - Universidade de Twente, Enschede, Holanda, 2005. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/ontological-foundations-for-structural-conceptual-models>. Acesso em: mar. 2021.
- HYVÖNEN, E. *Publishing and Using Cultural Heritage Linked Data on the Semantic Web*. [s.l.]: Morgan&Claypool, 2012. (Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology, v. 2).
- LEMOS, D. L. S.; MENDONÇA, F. M.; SOUZA, R. R. Ontologias no suporte semântico na organização de acervos digitais em rede. In: ALMEIDA, M. B. (org.). *Representação do Conhecimento, Ontologias e Linguagem*: pesquisa aplicada em Ciência da Informação. Curitiba: CRV, 2020. p. 161-191.
- LEMOS, D. L. S.; SOUZA, R. R. Ontologias na representação de documentos: um panorama atual para descrição de conteúdo multimídia em rede. *Inf. & Soc.: Est., João Pessoa*, v. 29, n. 4, p. 103-134, out./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/ies/article/view/47421>. Acesso em: mar. 2021.
- LEMOS, D. L. S.; SOUZA, R. R. Representação de recursos multimídia na web: uso e reúso de padrões de anotação. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Belo Horizonte, v. 25, n. especial, p. 202-232, 2020. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/view/4305>. Acesso em: mar. 2021.
- MACHADO, L. M. O.; SOUZA, R. R.; SIMÕES, M. G. Semantic web or web of data? a diachronic study (1999 to 2017) of the publications of tim berners-lee and the world wide web consortium. *JASIST*, [s.l.], v. 70, n. 7, p. 701-714, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.24111>. Disponível em: <https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.24111>. Acesso em: mar. 2021.
- POTENZIANI, M. *et al.* Publishing and Consuming 3D Content on the Web: a Survey. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, [s.l.], v. 10, n.4, p. 244-333, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1561/06000000083>. Disponível em: <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2018/PCDS18>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SALEMBIER, P.; SMITH, J. MPEG-7 multimedia description scheme. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, [s.l.], v. 11, n. 6, Jun. 2001. DOI: 10.1109/76.927435. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/927435>. Acesso em: mar. 2021.

SCHANDL, B. *et al.* Linked Data and multimedia: the state of affairs. *Multimedia Tools and Applications*, [s.l.], v. 59, p. 523-556, 2012. DOI 10.1007/s11042-011-0762-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-011-0762-9>. Acesso em: mar. 2021.

SHADBOLT, N., BERNERS-LEE, T.; HALL, W. The semantic web revisited. *IEEE Intelligent Systems*, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 96-101, 2006. DOI 10.1109/MIS.2006.62. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1637364>. Acesso em: mar. 2021.

SILVA, D. L. *Ontologias para representação de documentos multimídia: análise e modelagem*. 2014. 441 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9NCGYM>. Acesso em: mar. 2021.

SILVA, D. L.; SOUZA, R. R.; ALMEIDA, M. B. Ontologias e vocabulários controlados: comparação de metodologias para construção. *Ci. Inf.*, Brasília, v. 37, n. 3, p. 60-75, set./dez. 2008. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1204>. Acesso em: mar. 2021.

SILVA, D. L.; SOUZA, R. R. Representação de documentos multimídia: dos metadados às anotações semânticas. *Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciências da Informação*, [s.l.], v. 7, n. 1, 2014. Disponível em: <https://brapci.inf.br/index.php/res/v/119482>. Acesso em: mar. 2021.

SUÁREZ-FIGUEROA, M. C.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. The NeOn methodology for ontology engineering. In: SUÁREZ-FIGUEROA, M. C. *et al.* (ed.). *Ontology Engineering in a Networked World*. Berlin: Springer, 2012. p. 9-34.