

Representações formais do conhecimento e princípios de governança aplicados à integração entre o SNOMED CT e a CID via alinhamento indireto.

Jeanne Louize Emygdio¹, Maurício Barcellos Almeida²

¹Escola de Ciência da Informação – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, 31270-90 - Belo Horizonte - MG, Brasil.

²Departamento de Teoria e Gestão da Informação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.

jeanne.emygdio@gmail.com, mba@eci.ufmg.br

Abstract. *The purpose of this article is to present an ongoing research that aims to demonstrate the use of indirect alignment techniques, based on ontological scrutiny guided by principles of governance, to add quality to the integration of clinical terminologies. The methodology provides for the adoption of quality principles from ISO / ABNT: 12300, the OBO Foundry Initiative and the Basic Formal Ontology (BFO) for governance of the processes of indirect alignment and integration of clinical terminologies. The expected result includes a public, open and documented set of four ontologies of integration between the SNOMED CT and the ICD within the field of obstetrics.*

Resumo. *O objetivo deste artigo é o de apresentar uma pesquisa em andamento cujo propósito é demonstrar que o uso de técnicas de alinhamento indireto, baseadas no escrutínio ontológico, norteadas por princípios de governança, provê qualidade à integração de terminologias clínicas. A metodologia prevê adoção de princípios de qualidade provenientes da Norma ISO/ABNT:12300, da Iniciativa OBO Foundry e da Basic Formal Ontology (BFO) para governança dos processos de alinhamento indireto e integração de terminologias clínicas. O resultado esperado compreende um conjunto público, aberto e documentado de quatro ontologias computacionais de integração entre o SNOMED CT e a CID no âmbito da obstetrícia.*

1. Introdução

A área da saúde caracteriza um domínio complexo, no qual uma das principais partes de um sistema de informação (SI) médico, o Prontuário Eletrônico de Pacientes (PEP), reúne diversas especialidades em um único documento. Ao possibilitar melhorias na gestão do conhecimento sobre PEPs abre-se caminho para melhores perspectivas quanto à maior comodidade, eficiência, economia e segurança na prestação dos serviços de saúde [Gutierrez, Moreno e Rebelo 2017]. Os desafios à construção de PEPs resultam da heterogeneidade dos elementos humanos, técnicos, processuais e regulatórios que devem ser articulados durante a prestação dos cuidados à saúde. A adoção de padrões busca estabelecer princípios comuns para que estes elementos possam cooperar de forma eficiente e produtiva no contexto, favorecendo o alcance de interoperabilidade em múltiplos níveis. No entanto, a significativa proliferação e

sobreposição de padrões promove desafios ao seu entendimento, adoção, integração e evolução em função dos propósitos distintos que os caracterizam, agregando maior carga de complexidade para a realização das práticas mencionadas [ABNT 2016; Adel et al. 2019; Haendel et al. 2018; Quintana e Safran 2017; Schulz et al. 2017; Schulz, Stegwee e Chronaki 2019]. O objetivo deste artigo é o de apresentar uma pesquisa em andamento cujo propósito é o demonstrar que o uso de técnicas de alinhamento indireto, baseadas no escrutínio ontológico e norteadas por princípios de governança, provê maior precisão à integração de terminologias clínicas. O resultado esperado compreende um conjunto público, aberto e documentado de quatro ontologias computacionais de integração entre o SNOMED CT e a CID no âmbito da obstetrícia. As seções seguintes irão abordar uma contextualização ao problema de pesquisa, os desafios ao uso de padrões terminológicos e os trabalhos correlatos. No capítulo dois será apresentada a pesquisa em andamento.

1.1 Contextualização

Diversas organizações concorrem para o provimento destes padrões, destacando-se a ISO, a CEN, IHTSDO, HL7, DICOM, OpenEHR e a IHE. Consequentemente, diversos padrões concorrem para alcance dos mesmos fins, como: HL7, TISS, DICOM, OpenEHR, LOINC, SNOMED CT, CID, IHE, MeSH, ICF, resultando em sobreposições semânticas e sintáticas recorrentes, que comprometem a interoperabilidade pretendida. Os interesses desta pesquisa repousam sob as questões que inviabilizam a interoperabilidade semântica no contexto, sendo necessários alguns esclarecimentos preliminares: i) Padrões terminológicos caracterizam-se como instrumentos de organização da informação, recebendo no contexto médico, denominações diversas, como: cabeçalho de assunto, classificação, nomenclatura, vocabulário, ontologias, terminologias biomédicas, entre outros [Teixeira e Almeida 2019]. Está além dos propósitos desta pesquisa discutir tais denominações, adotando-se o termo genérico "terminologias clínicas" [Schulz et al. 2017], fazendo-se distinção por variantes quando necessário; ii) Há décadas um grande volume de pesquisas vem sendo realizado visando o desenvolvimento de soluções seguras e em escala para a geração automatizada de mapeamentos entre as terminologias clínicas, tendo por base a identificação de correspondências entre as entidades envolvidas em suas estruturas por meio de estratégias, ferramentas e frameworks computacionais, conforme exaustivas revisões sistemáticas [Ochieng e Kyanda 2018; Otero-Cerdeira, Rodríguez-Martínez e Gómez-Rodríguez 2015]. Está além dos propósitos desta pesquisa o provimento de métodos computacionais concorrentes, buscando-se, por outro lado, oferecer uma contribuição que permita maior elucidação e distinção sobre os aspectos ontológicos e epistemológicos que permeiam as classificações em terminologias clínicas, os desafios que a epistemologia impõe ao alcance de interoperabilidade semântica e a forma como os fundamentos ontológicos podem ser empregados para mitigar suas imprecisões semânticas; iii) Há no contexto duas abordagens de integração de terminologias clínicas baseadas em repositórios de ontologias integradas, visando minimizar sua proliferação e sobreposição: a) a de mapeamento retrospectivo, utilizada pelo Sistema de Linguagem Médica Unificado (UMLS), baseada na identificação de relações de sinonímia entre os termos constituintes de seu acervo, gerando benefícios para a indexação e recuperação de documentos, em contrapartida à uma demanda contínua de manutenção e evolução dos mapeamentos em função da ausência de uma arquitetura comum entre as fontes de vocabulários; b) a de padronização prospectiva desenvolvida pelo Consórcio de

Ontologias Biomédicas Abertas (OBO *Foundry*) [Smith 2015; Smith et al. 2007], apoiado pelo NCBO, através do BioPortal: que prevê a criação de um órgão para ontologistas da ciência da vida, comprometidos com a colaboração e aderência a princípios compartilhados e em evolução para construção e distribuição de ontologias, tais como: uso de sintaxe comum compartilhada, uso de identificador único e controle de versionamento, fornecimento obrigatórios de definições textuais para todos os termos, relações padronizadas pela ontologia OBO *Relation* (RO), distribuição em formato aberto, aderência ao princípio da ortogonalidade sob o qual cada domínio deve convergir para uma única ontologia recomendada para uso por todos os que desejam se envolver na iniciativa OBO *Foundry*. A *Gene Ontology* (GO) é um exemplo de projeto desta iniciativa [Zhu et al. 2015]. Pesquisas interdisciplinares avançam sob este viés, abrangendo temas como: repositórios, arcabouços e estratégias para construção, interoperabilidade e evolução de ontologias biomédicas, PEPS, oportunidades e desafios ao uso de ontologias em saúde [Almeida e Farinelli 2017; Andrade, Almeida e Schulz 2012; Bodenreider 2018; Martínez-Costa e Schulz 2017; Rector 1999; Schulz 2018; Schulz et al. 2017; Schulz e Jansen 2013; Smith 2015; Smith et al. 2007; Zhang e Bodenreider 2005]. A visibilidade destas pesquisas para o estímulo a pesquisas similares no Brasil é baixa, tendo em vista a atenção voltada a adoção do SNOMED CT, CID e o openEHR. A presente pesquisa será norteadada pela abordagem de padronização prospectiva.

1.2 Aspectos epistemológicos em terminologias clínicas e o papel das ontologias

A existência de sobreposição epistêmica em terminologias clínicas têm sido discutida na literatura de ontologias biomédicas há anos [Rector 1999; Bodenreider, Smith e Burgun 2004]. Refere-se à presença de informações adicionais, de relevância médica, mas que não deveriam participar da representação das entidades reais [Teixeira e Almeida 2019], como é possível observar, por exemplo, no SNOMED CT:

- "*Morte natural com suspeita de causa provável*", possibilita a comunicação de uma imprecisão clínica sobre um diagnóstico de morte;
- "*Doença do coração excluída*", reflete uma convicção momentânea do médico e não a natureza ou a gravidade de um diagnóstico;
- "*Operação no coração, re-agendada*", comunica a intenção de mudança na situação de um processo que ainda não ocorreu.

A presença destas informações nas estruturas das terminologias clínicas conduzem à definição de classes que não atendem aos princípios de classificação e resultam em problemas na comparação dos termos visando alinhamentos, mapeamentos, integração e sua evolução [Bodenreider, Smith e Burgun, 2004]. O uso de princípios ontológicos, como os da BFO, baseia-se na aplicação do sexteto ontológico de Aristóteles (universais versus particulares, continuantes versus ocorrentes e dependentes versus independentes), associado às regras de construção de taxonomias de qualidade (compromisso ontológico, estrutura taxonômica que possibilite a classificação de tipos e subtipos de coisas, princípio de disjunção, exaustividade e precisão na classificação dos termos, uniformidade ao domínio, uso de linguagens de representação que garantam expressividade e precisão e na não definição de meta-tipos), permitindo assim, a eliminação dos aspectos epistemológicos. A importância deste alcance repousa sobre o fato de que as terminologias clínicas são criadas para padronizar a comunicação humana dentro do contexto ao qual se referem, sendo até certo ponto justificável a existências de

tais informações adicionais. No entanto, para o propósito de proverem compartilhamento de sentido na comunicação entre computadores, visando acesso e uso preciso dos dados armazenados em esquemas físicos (banco de dados), faz-se necessária a identificação clara dos termos reais do domínio existentes em seu vocabulário, o que pode ser alcançado a partir da ancoragem de seus termos aos termos de uma ontologia formal, como um efeito análogo ao da redução de frações matemáticas a um denominador comum para que as operações entre elas possam ser realizadas. Assim, nos três exemplos dados, conclui-se que: i) uma suspeita provável de causa de morte, não é uma causa de morte; uma doença do coração excluída, não compreende um diagnóstico exato aos sintomas observados em um paciente; uma operação no coração, re-agendada não é uma operação, mas uma intenção de operar. Os termos de domínio, portanto, são exclusivamente: morte natural, doença do coração e operação no coração. Uma vez eliminados os elementos ambíguos, torna-se possível a realização de maior número de comparações de termos entre terminologias clínicas, com economia de tempo e de recursos de processamento, além da otimização das sentenças de busca sobre dados armazenados de pacientes. Tais aspectos são os que se pretende demonstrar por meio desta pesquisa.

1.3 Trabalhos correlatos

Em Schulz, Suntisrivaraporn e Baader (2007) encontra-se uma lista de problemas existentes no SNOMED CT, relacionados à sua estrutura, definição e fronteira de conceitos, relações, meta-classes, entre outros, e orientações para correções a partir do escrutínio ontológico. Em Zhang e Bodenreider (2005), encontra-se a descrição prática de um experimento que comprova a eficiência para aumento de qualidade em mapeamentos entre um tesouro de câncer (NCI Thesaurus) e o dicionário anatômico de rato adulto (MA) a partir da ancoragem de seus termos na Ontologia Fundacional de Anatomia (FMA). O método demonstrou eficiência pelo número de combinações terminológicas encontradas e economia no custo efetivo em função do menor número de mapeamentos diretos necessários para cobrir um conjunto mínimo de ontologias a serem mapeadas. Em Rodrigues et al (2015) encontra-se um projeto de alinhamento entre SNOMED CT e CID-11 através da articulação de duas abordagens, sendo uma delas baseada na definição de axiomas que permitam a proposição de sentenças universalmente verdadeiras, em linguagem OWL. Busca-se elencar, de ambas as terminologias, núcleos terminológicos comuns e relacionáveis, visando sua harmonização para efeito de mapeamento e evolução. Em Bodenreider (2018) encontra-se um estudo de avaliação de qualidade e interoperabilidade de terminologias biomédicas com indicativos de que o uso de técnicas híbridas de métodos léxicos e estruturais são inovativos e efetivos em detecção de erros no SNOMED CT, além de sugestivos para ações de correção. Em Schulz et al (2019) encontra-se um estudo sobre aspectos de governança relevantes para a definição e uso de terminologias clínicas.

2. Pesquisa em andamento

Tendo em vista as informações apresentadas, definiu-se a seguinte questão de pesquisa: De que forma e sob quais aspectos pode-se colaborar para mitigar a interoperabilidade de dados em domínios amplos, a partir do uso de ontologias? O objetivo geral é o de demonstrar que o uso de estratégias combinadas, baseadas no escrutínio ontológico e norteadas por padrões de governança, provê alinhamentos e integrações de qualidade entre terminologias clínicas. Os objetivos específicos são: i) compreender a natureza

estrutural das terminologias clínicas e as formas de representação do conhecimento por elas utilizadas; ii) identificar amostras terminológicas relacionada à área obstétrica em ambas as terminologias clínicas que possibilitem a realização do experimento; iv) identificar princípios de governança que possam nortear todo o processo e agregar qualidade à sua execução; iii) identificar metodologias e abordagens para interoperar terminologias clínicas a partir de ontologias realistas; iv) analisar tais metodologias e abordagens para determinar a mais adequada à interoperabilidade esperada; v) interoperar as terminologias clínicas; vi) demonstrar os níveis de qualidade obtidos após a interoperabilidade entre as mesmas.

2.3 Metodologia e forma de análise dos resultados

A pesquisa fundamenta-se na abordagem realista, a qual norteia a construção das ontologias formais no *framework* da BFO e da OBO *Foundry*. A pesquisa é de **natureza aplicada**, a **forma de abordagem** ao problema é qualitativa; em relação aos **objetivos** a pesquisa é **explicativa** e **experimental**. A metodologia prevê a adoção de princípios de qualidade em três níveis: i) Governança de processos de alinhamento e integração: baseada nos princípios de mapeamento entre sistemas terminológicos vigentes na Norma ABNT ISO/TR:12300; ii) Construção e distribuição de ontologias realistas: adoção dos princípios da OBO *Foundry* e da BFO para construção de ontologias; iii) Método de integração: adoção do método de alinhamento indireto proposto por Zhang e Bodenreider (2007). A **governança de processos de alinhamento e integração** prevê a realização de diversas práticas, organizadas em um plano de governança, compreendendo: **Fase 1: Abordagem ao contexto médico, avaliações preliminares (i) e planejamentos (ii)**: Atividades: i) conhecimento das práticas clínicas na área obstétrica, a partir de parceria com profissionais do Hospital das Clínicas de Belo Horizonte e análise das terminologias clínicas visando compreender a natureza de suas estruturas e formas de representação do conhecimento adotadas; definição do propósito, tipo e utilidade do mapeamento, frequência de uso, levantamento de riscos; ii) definição de formato processável por máquina, identificação de versões, definição de convenções e regras, definição, montagem e testes do ambiente (ferramentas, linguagens e *pluggins*) e do processo de produção, identificação da direção dos alinhamentos, definição do processo de validação, definição do formato para distribuição e licenciamento; **Fase 2: Experimentação**: Atividades: iii) Execução: implementação dos alinhamentos e integração, especificação explícita de perda ou ganho de significado, diretrizes explícitas aplicadas em desenvolvimento e implementação, conjuntos de ontologias de integração documentados; iv) Avaliação: aplicação do processo de validação; v) Processos de manutenção e evolução: Definição do plano de manutenção e evolução, elaboração de documentação de suporte aos processos de alinhamento e integração. O **método de alinhamento e integração** prevê a realização de alinhamentos diretos e indiretos entre os termos e relações das terminologias clínicas, a serem executados da seguinte forma: i) **Alinhamento direto** entre as terminologias clínicas e as ontologias formais, obtendo como resultado as ontologias de integração SCT-BFO (O_{i1}) e CID-BFO (O_{i2}) e, entre as próprias terminologias clínicas, obtendo como resultado a ontologia de integração SCT-CID (O_{i3}). Atividades previstas: a) **Identificação de combinações léxicas**: comparação de termos visando encontrar as combinações conceito a conceito; b) **Identificação de combinações estruturais**: comparação das relações a partir da identificação de relacionamentos hierárquicos entre conceitos incluindo as do tipo "é-um" e "parte-de" e seus inversos; ii) **Alinhamento indireto**:

entre os conceitos das ontologias SCT-BFO e CID-BFO, obtendo como resultado a ontologia de integração SCT-CID (O_{i4}), sendo possível a adição de novas classes, axiomas e anotações. As atividades descritas são apresentadas na Figura 1:

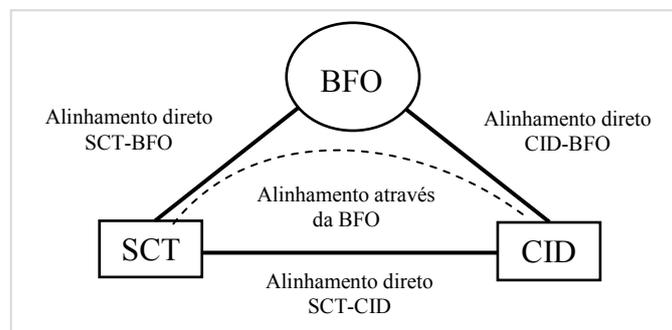


Figura 1: Método de alinhamento estabelecido.

Pretende-se a análise qualitativa dos resultados tendo por base a observância das perdas e ganhos de significados obtidos a partir da comparação dos alinhamentos diretos e indiretos realizados entre SCT e CID.

2.4 Resultados preliminares

A seguir serão apresentados os resultados preliminares da pesquisa em andamento de acordo com o plano de governança proposto para a Fase 1: A viabilidade de execução da pesquisa baseia-se na disponibilidade de acesso às terminologias clínicas, aos profissionais parceiros da área médica e às tecnologias previstas para uso; os riscos repousam sobre o tamanho das amostras a serem integradas e a previsão de término da pesquisa. O propósito dos alinhamentos será o de fornecer mapeamentos para integração de outros sistemas de codificação em uso. O **formato das ontologias de integração** visando processamento por máquina será o da Linguagem OWL2, *profile* OWL2 EL e sintaxe de Manchester, mais adequados à leitura/escrita simples de ontologias em lógica de descrição, checagem de inconsistências e execução de inferências. As **convencões e regras estabelecidas** para os alinhamentos e integrações deverão seguir os princípios da OBO Foundry e BFO. O **ambiente de produção** será composto por uma **arquitetura tecnológica** baseada no uso do editor de ontologias Protegé, *pluggin* Hermit para verificação de inconsistências por *reasoning*. Há estudo em andamento de diversos *pluggins* do Bioportal para possível adoção visando otimizar o manuseio das terminologias clínicas, como: Snow OWL - Snomed CT *browser* integrado ao Protegé, BioPortal Import Pluggin - para importação de terminologias clínicas, OWL 2 Query - execução de consultas em SPARQL e OWL Diff - comparação de ontologias. Há ainda a previsão de organização de uma **arquitetura terminológica** de suporte às atividades de mapeamento e que será construída a partir da importação das classes, relações e instâncias necessárias. Atividades previstas: i) identificação do escopo das terminologias clínicas a serem interoperadas, extração das classes, relações e instâncias necessárias; ii) identificação do escopo de classes e relações da BFO e ontologias derivadas necessárias; iii) importação de classes, relações e instâncias, previamente identificadas e extraídas ao ambiente do Protegé. O **processo de produção** inicialmente será o de alinhamento e integração humanos, e posteriormente haverá busca por ferramentas para sua automatização. As direções estabelecidas para os alinhamentos deverão partir das terminologias clínicas formais para as informais, portanto: para a definição de O_{i1} , O_{i2} , O_{i3} e O_{i4} , o sentido dos alinhamentos parte de BFO para SCT, BFO para CID, SCT para

CID e SCT para CID, respectivamente. O **processo de validação** dos alinhamentos e integrações será realizado em duas etapas: i) internamente, através da verificação de inconsistências (via *pluggins*) e erros de inferências (via consultas na linguagem SPARQL); ii) externamente, a partir da verificação de especialistas da área da saúde. As ontologias de integração serão distribuídas em formato livre (*open format*), sob licença Creative Commons (CC-BY), seguindo as diretrizes de distribuição da OBO Foundry.

References

- ABNT. (2016) **Informática em saúde: princípios para mapeamento entre sistemas terminológicos. Norma ABNT ISO/TR 12300:2016**: Norma ABNT ISO/TR. [s.l.] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.
- Adel, E. et al. (2019) Ontology-based electronic health record semantic interoperability - A survey. In: **U-Healthcare Monitoring Systems: Design and Applications**. 1st. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2019. v. 1p. 315–352.
- Almeida, M. B.; Farinelli, F. (2017) Ontologies for the representation of electronic medical records: The obstetric and neonatal ontology. **Journal of the Association for Information Science and Technology**.
- Andrade, A. Q.; Almeida, M. B.; Schulz, S. (2012) **Revisiting ontological foundations of the OpenEHR Entry Model**. Proceedings of the International Conference of Biomedical Ontologies, 2012. **Anais...** In: Proceedings of the International Conference of Biomedical Ontologies, 2012. Áustria: 2012Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-897/session4-paper23.pdf>>
- Bodenreider, O. (2018) **Evaluating the Quality and Interoperability of Biomedical Terminologies**. [s.l.] LHCNBC Board of Scientific Counselors.
- Bodenreider, O.; Smith, B.; Burgun, A. (2004) The Ontology-Epistemology Divide: A Case Study in Medical Terminology. **Formal ontology in information systems: proceedings of the ... International Conference. FOIS (Conference)**, v. 2004, p. 185.
- Gutierrez, M. A.; Moreno, R. A.; Rebelo, M. S. (2017) Information and Communication Technologies and Global Health Challenges. In: **Global Health Informatics**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 50–93.
- Haendel, M. et al. (2018) A Census of Disease Ontologies. **Annual Review of Biomedical Data Science**, v. 1, n. 1, p. annurev-biodatasci-080917-013459.
- Martínez-Costa, C.; Schulz, S. (2017) Validating EHR clinical models using ontology patterns. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 76, p. 124–137.
- Ochieng, P.; Kyanda, S. (2018) Large-Scale Ontology Matching. **ACM Computing Surveys**, v. 51, n. 4, p. 1–35.
- Otero-Cerdeira, L.; Rodríguez-Martínez, F. J.; Gómez-Rodríguez, A. (2015) Ontology matching: A literature review. **Expert Systems with Applications**.
- Quintana, Y.; Safran, C. (2017) Global Health Informatics—An Overview. In: **Global Health Informatics**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 1–13.

- Rector, A. L. (1999) Clinical terminology: why is it so hard? **Methods of Information in Medicine**, v. 38, n. 4–5, p. 239–252.
- Rodrigues, J.-M. et al. (2015) Semantic Alignment between ICD-11 and SNOMED CT. *Studies in Health Technology and Informatics*, v. 216, p. 790–794.
- Schulz, S.; Baader, F.; Suntisrivaraporn, B. (2007) SNOMED CT's problem list: Ontologists' and logicians' therapy suggestions. *Studies in health technology and informatics*, v. 129, p. 802–806.
- Schulz, S. et al. (2017) Interface Terminologies, Reference Terminologies and Aggregation Terminologies: A Strategy for Better Integration. **Studies in health technology and informatics**, v. 245, p. 940–944.
- Schulz, S. (2018) **The Role of Foundational Ontologies for Preventing Bad Ontology Design**. Joint Ontology Workshops 2018 - Episode IV: The South African Spring. **Anais...**Cape Town, South Africa.
- Schulz, S.; Jansen, L. (2013) Formal Ontologies in Biomedical Knowledge Representation. **Yearbook of Medical Informatics**, v. 22, n. 01, p. 132–146.
- Schulz, S.; Stegwee, R.; Chronaki, C. (2019) Standards in Healthcare Data. In: Kubben, P.; Dumontier, M.; Dekker, A. (Eds.). . **Fundamentals of Clinical Data Science**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 19–36.
- Smith, B. et al. (2007) The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. **Nature biotechnology**, v. 25, n. 11, p. 1251.
- Smith, B. (2015) **Basic Formal Ontology 2.0 - Specification and User Guide**: BFO. Buffalo: [s.n.].
- Teixeira, L. M.; Almeida, M. B. (2019) Aspectos ontológicos e epistêmicos em terminologias clínicas: em busca de interoperabilidade semântica no ambiente médico. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 23, n. 53, p. 1–15.
- Zhang, S.; Bodenreider, O. (2005) Alignment of multiple ontologies of anatomy: deriving indirect mappings from direct mappings to a reference. **AMIA ... Annual Symposium proceedings. AMIA Symposium**, p. 864–868.
- Zhu, Q. et al. (2015) Global ontology research progress: a bibliometric analysis. **Aslib Journal of Information Management**, v. 67, n. 6, p. 27–54.