

# Ontologias de Fundamentação e Modelagem Conceitual

Giancarlo Guizzardi, João Paulo Andrade Almeida, Renata S.S. Guizzardi, Ricardo Falbo

Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias (NEMO),  
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Av. Fernando Ferrari, 514,  
Campus de Goiabeiras, 29075-910, Vitória-ES, Brazil, {gguizzardi, jpalmeida, rguizzardi  
falbo}@inf.ufes.br – <http://nemo.inf.ufes.br/>

## Posição de Pesquisa (*Research Statement*)

Apesar da crescente popularidade do tópico de ontologias em Ciência da Computação, um importante ponto a ser salientado é a diferença do significado do termo “ontologia” quando utilizado, por um lado, pela comunidade de Modelagem Conceitual e, por outro, pelas comunidades de Inteligência Artificial, Engenharia de Software e Web Semântica. Em modelagem conceitual e áreas afins (ex. Modelagem organizacional), o termo é usado de acordo com sua definição original em filosofia, a saber, como uma referência a um sistema formal e filosoficamente bem-fundamentado de categorias que pode ser usado para articular conceituações e modelos em domínios específicos do conhecimento. Em contraste, nas outras áreas supracitadas, o termo ontologia tem sido usado como: (i) artefato concreto de engenharia, projetado com um propósito específico e sem prestar nenhuma ou quase nenhuma atenção a aspectos teóricos de fundamentação; (ii) modelo de um domínio específico do conhecimento (ex., biologia molecular, finanças, logística, doenças infecciosas) expresso em uma linguagem de representação do conhecimento (ex., RDF, OWL, F-Logic) ou modelagem conceitual (ex., UML, EER, ORM).

Ontologias, no sentido filosófico, têm sido desenvolvidas em filosofia desde Aristóteles com sua teoria de Substância e Acidentes e, mais recentemente, várias dessas teorias têm sido propostas sob o nome de **ontologias de fundamentação** (*Foundational Ontologies*). Desde o fim da década de oitenta, observa-se um crescente interesse no uso dessas ontologias de fundamentação no processo de avaliação e (re)engenharia de linguagens de modelagem conceitual. A hipótese inicial, e que foi posteriormente confirmada por várias evidências empíricas, pode ser explicada através da seguinte argumentação: (i) modelos conceituais são artefatos produzidos com o objetivo de representar uma determinada porção da realidade segundo uma determinada conceituação; (ii) Ontologias de Fundamentação descrevem as categorias que são usadas para a construção dessas conceituações. Podemos, portanto, concluir que uma linguagem adequada de modelagem conceitual deveria possuir primitivas de modelagem que refletissem as categorias conceituais definidas em uma Ontologia de Fundamentação.

Uma ontologia de domínio, no sentido usado pelas demais comunidades em computação, é um tipo particular de modelo conceitual. Em particular, é um modelo conceitual que deve satisfazer o requisito adicional de servir como uma representação de consenso (ou modelo de referência) de uma conceituação compartilhada por uma determinada comunidade. Portanto, se uma ontologia de domínio é, antes de qualquer coisa, um modelo conceitual, uma linguagem adequada para representação de ontologias de domínio deve satisfazer os requisitos gerais de uma linguagem adequada para modelagem conceitual, ou seja, deve ter como teoria subjacente uma ontologia de fundamentação. Em outras palavras, ontologias (no sentido adotado em filosofia e em

modelagem conceitual) representam ferramentas conceituais de importância fundamental para a criação de ontologias de domínio de qualidade (no sentido adotado nas demais áreas).

O grupo NEMO, através de seu trabalho de pesquisa, defende explicitamente a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para a construção de teorias de fundamentação para modelagem conceitual, trabalhando com contribuições oriundas de disciplinas como Ontologia Formal em Filosofia, Ciência Cognitiva, Lógica Filosófica e Linguística. Por outro lado, o trabalho do grupo também defende explicitamente a necessidade dessas teorias de Fundamentação para construção de ferramentas de engenharia (ex. linguagens de modelagem, ferramentas computacionais, padrões de projeto) para dar suporte a uma Engenharia de Ontologias de Domínio de qualidade [Guarino & Guizzardi, 2006; Guizzardi & Halpin, 2008].

## **Principais Tópicos de Pesquisa**

### **Unified Foundational Ontology (UFO)**

Uma das principais linhas de trabalho desenvolvidas no grupo diz respeito ao desenvolvimento de Ontologias de Fundamentação para dar suporte à modelagem conceitual, de maneira geral, e à modelagem organizacional, em particular. A principal contribuição do grupo nesta área é o desenvolvimento de teorias que compõem a ontologia de fundamentação denominada *UFO (Unified Foundational Ontology)*. UFO, inicialmente proposta em [Guizzardi & Wagner, 2004], tem sido desenvolvida ao longo dos últimos seis anos, reunindo teorias axiomáticas que versam sobre as principais categorias de conceitos usados em modelagem conceitual. UFO é dividida em três fragmentos denominados *UFO-A (Ontology of Endurants)*, *UFO-B (Ontology of Perdurants)* e *UFO-C (Ontology of Social and Intentional Entities)*.

UFO-A define o núcleo dessa ontologia, sistematizando conceitos como, por exemplo, tipos e estruturas taxonômicas [Guizzardi et al., 2004], relações todo-parte [Guizzardi, 2007], propriedades intrínsecas e espaços de valores de atributos [Guizzardi & Masolo & Borgo, 2006], propriedades relacionais [Guizzardi & Wagner, 2008], entre outros. Esse fragmento constitui uma teoria estável, formalmente caracterizada com o aparato de uma lógica modal de alta expressividade e possuindo forte suporte empírico promovido por experimentos em psicologia cognitiva [Guizzardi, 2005].

No que tange a este tópico de pesquisa, o grupo atualmente tem se dedicado à evolução do trabalho de construção das ontologias UFO-B e C [Guizzardi et al., 2007; Guizzardi & Falbo & Guizzardi, 2008]. A primeira visa sistematizar conceitos como estados, processos, eventos, relações temporais, entre outros. A última, construída sobre os fragmentos anteriores, visa sistematizar conceitos que incluem Agente, Ação, Estados Intencionais, Delegação, Compromissos e Reinvidicações Sociais etc.

### **OntoUML**

Na abordagem de pesquisa discutida anteriormente, é defendido o uso de linguagens de modelagem de ontologias conceituais baseada em ontologias de fundamentação. Seguindo essa abordagem, em [Guizzardi, 2005] foi proposta uma linguagem de modelagem conceitual que contempla como primitivas de modelagem as distinções ontológicas proposta pela ontologia UFO-A. Essa linguagem (atualmente chamada de OntoUML) foi construída seguindo um processo no qual: (i) o metamodelo da linguagem original (no caso, a UML 2.0) é reparado para garantir um isomorfismo em

seu mapeamento para a estrutura definida pela ontologia de referência (no caso, UFO-A); (ii) em segundo lugar, a axiomatização da ontologia de fundamentação é transferida para o metamodelo da linguagem, por meio de restrições formais incorporadas a esse metamodelo. O objetivo dessa etapa é garantir que a linguagem só admitirá como modelos gramaticamente válidos aqueles modelos que satisfazem (do ponto de vista lógico) a axiomatização de UFO, ou seja, aqueles modelos que são considerados válidos segundo essa teoria. Essa linguagem também incorpora um conjunto de padrões de modelagem de ontologias (*ontological design patterns*) para solução de alguns problemas clássicos de modelagem no que diz respeito a, por exemplo, modelagem de papéis [Guizzardi et al., 2004], resolução do problema de transitividade da relação todo-parte [Guizzardi, 2008] e resolução do problema de colapso de restrições de cardinalidade [Guizzardi & Wagner, 2008]. Além disso, em [Guizzardi, 2005] é proposto um conjunto de diretivas metodológicas para a criação de ontologias usando a linguagem OntoUML.

No que tange a este tópico de pesquisa, o grupo tem se dedicado atualmente ao desenvolvimento de ferramentas computacionais para dar suporte automatizado à construção de modelos em OntoUML. Um exemplo é o editor gráfico de modelos OntoUML<sup>1</sup> [Benevides & Guizzardi, 2009; Benevides et al., 2009] com suporte à validação da correção ontológica dos modelos de domínio, através de um mecanismo de checagem automática de restrições, além de um suporte a simulação de instâncias desses modelos, por meio de um mapeamento automático de modelos OntoUML para a linguagem Alloy. O grupo também vem estudando outros mapeamentos para linguagens alternativas de codificação (ex., DLR<sub>us</sub>), bem como estratégias de preservação de algumas propriedades modais de modelos em OntoUML para OWL/SWRL, usando, por exemplo, uma abordagem perdurantista (4D).

### **Análise Ontológica de Modelos de Referência e Linguagens de Modelagem Organizacional**

Da mesma forma que UFO-A foi utilizada para avaliação e re-engenharia de UML, culminando na proposta de OntoUML, as ontologias UFO-B e UFO-C tem sido empregadas para abordar linguagens e padrões de referência de modelagem organizacional. Resultados obtidos até o presente momento nessa linha de trabalho incluem a integração das linguagens de modelagem baseadas em agentes TROPOS e AORML [Guizzardi & Guizzardi, 2010], e a análise ontológica do padrão *ISO RM-ODP (Open Distributed Processing – Enterprise Viewpoint)* [Almeida & Guizzardi, 2007], e dos modelos de referência ARIS [Almeida & Guizzardi, 2008; Almeida & Guizzardi & Santos, 2010], além das disciplinas de gerência de configuração, processos e incidentes do padrão ITIL [Calvi, 2008].

### **Ontologias de Domínio e Aplicações Baseadas em Ontologias**

Tanto a ontologia de fundamentação UFO quanto a linguagem OntoUML tem sido utilizadas em diversos estudos de caso de construção de ontologias de domínio, bem como no desenvolvimento de aplicações baseadas nessas ontologias. Exemplos de domínios abordados incluem Eletrocardiologia [Nunes, Zamborlini & Guizzardi, 2009], Exploração e Produção de Petróleo [Lopes et al., 2008; Guizzardi et. al, 2009], entre outros.

---

<sup>1</sup> Disponível em <http://code.google.com/p/ontouml/>

## Breve Histórico do Grupo e Membros

Criado em 1998, o LABES (Laboratório em Engenharia de Software) foi fundado em 1999, com o propósito de investigar a aplicação de técnicas baseadas em ontologias na engenharia de software. Nessa área de atuação, um dos principais projetos do laboratório foi o desenvolvimento do ambiente de desenvolvimento *ODE (Ontology-Based Development Environment Project)* [Falbo et AL. 2003]. Esse projeto investigou também o uso de ontologias de domínio como ponto de partida para o desenvolvimento sistemático de frameworks orientados a objeto. Como resultados, foram construídas ontologias formais para diversos subdomínios da engenharia de software como, por exemplo, requisitos de software [Nardi & Falbo, 2008], processo de software [Falbo & Bertollo, 2010], qualidade de software [dal Moro & Falbo, 2008], gerência de configuração [Arantes & Falbo & Guizzardi, 2007]. Uma vez produzidas, essas ontologias de domínio foram utilizadas para a construção de frameworks reutilizáveis que, por sua vez, foram incorporados na ferramenta de desenvolvimento [Guizzardi & Falbo & Gonçalves, 2002]. Desde 2004, o laboratório vem desenvolvendo projetos no uso de ontologias para prover suporte inteligente à gerência do conhecimento em engenharia de software. Em 2006, o LABES foi incorporado ao recém-criado NEMO. Desde sua criação, o grupo tem estabelecido parcerias com organizações de setores produtivos, como engenharia de domínio, engenharia de software e energia (petróleo e gás natural). Recentemente, o grupo foi convidado para contribuir com as atividades dos grupos de trabalho da iniciativa e-PING de governo eletrônico, através de membros da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento (SLTI/MP). Por fim, o grupo tem estabelecido colaborações de longa duração com grupos e pesquisadores de renome da comunidade internacional como, por exemplo, o Laboratório de Ontologia Aplicada (LOA-ISTC-CNR), em Trento (Itália), coordenado por Nicola Guarino, que visitou o NEMO em 2008; o grupo Ontologies in Medicine da Universidade de Leipzig (Alemanha), coordenado por Heinrich Herre; o grupo de Internet Technologies da Brandenburg University of Technology at Cottbus (Alemanha), coordenado por Gerd Wagner, que visitou o NEMO em 2009.

Atualmente, o grupo é formado por 15 alunos colaboradores e 4 pesquisadores sênior, cuja biografia é resumida a seguir, no que tange os aspectos relacionados ao tema do seminário:

Giancarlo Guizzardi obteve seu doutorado (com a mais alta distinção) pela Universidade de Twente (Holanda), em 2005, com uma tese sobre Ontologias de Fundamentação e Modelagem Conceitual. Desde 2003, tem sido Cientista Visitante, Colaborador de Pesquisa e Pesquisador Associado do *Laboratory for Applied Ontology (LOA), Institute for Cognitive Science and Technology (ISTC)*, em Trento (Itália). Tem trabalhado diretamente com pesquisa em ontologias desde 1997. Foi criador das séries de eventos científicos internacionais *VORTE (Vocabularies, Ontologies and Rules for The Enterprise)*, *WOMSDE (Workshop on Ontologies and Metamodels in Software and Data Engineering)*, e *MOST (Metamodels, Ontologies and Semantic Technologies)*. Tem sido editor convidado de edições especiais de periódicos científicos internacionais no tópico de ontologias, incluindo do *Applied Ontology*. Por fim, tem sido convidado para promover a disciplina de *Ontology-Driven Conceptual Modeling* como *keynote speaker* (BalticDB&IS'06, LAWeb/Webmedia/SBSC'08), professor visitante (ex., Prague University of Economics, SIKS Dutch Research School) e tutorialista (ex., SBSI'08, ER'09).

João Paulo Andrade Almeida obteve seu doutorado pela Universidade de Twente (Holanda) em 2006 com uma tese sobre desenvolvimento baseado em modelos e a

noção de plataformas abstratas no desenvolvimento orientado a serviços. Entre 2006 e 2007, foi pesquisador associado ao Telematica Instituut (Holanda), direcionando seu trabalho de pesquisa para a área de Arquiteturas Organizacionais (*Enterprise Architectures*). Atualmente, tem trabalhado no uso de ontologias para fundamentação de conceitos e avaliação/re-engenharia de modelos de referência e linguagens para modelagem organizacional.

Renata S.S. Guizzardi obteve seu doutorado pela Universidade de Twente (Holanda) em 2006, com uma tese sobre o uso do paradigma de Orientação a Agentes na Gestão de Conhecimento, propondo uma visão Construtivista para essa área. Entre 2005 e 2006, foi pesquisadora do grupo de Sistemi di Ragionamento Artificiale (SRA), da Fondazione Bruno Kessler (FBK), Trento (Itália), onde estreitou o foco de parte do seu trabalho de doutorado sobre o uso de Ontologias de Fundamentação para a análise, reengenharia e integração de conceitos a linguagens de modelagem orientadas a agentes.

Ricardo Falbo obteve seu doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 1998, com uma tese sobre o uso de ontologias de domínio para a integração de conhecimento em ambientes de desenvolvimento de software. Desde 1996, tem trabalhado ativamente no desenvolvimento de técnicas, linguagens, e metodologias para a Engenharia de Ontologias. Além disso, tem trabalhado na construção de ontologias de domínio para diversas subáreas da Engenharia de Software (ex. Processo de Software, Qualidade de Software, Recursos de Software, Gerência de Configuração). Esse trabalho foi incorporado no desenvolvimento do *ODE (Ontology-Based Software Development Environment)*, um ambiente semântico de desenvolvimento de software baseado em ontologias. Na última década, tem ministrado diversos cursos no tópico de ontologias, incluindo o tutorial intitulado “*Apoiando a Engenharia e Gerência de Sistemas Organizacionais através de Ontologias*” (SBES’2001).

## Referências

1. Almeida, J.P.A., Guizzardi, G. A Semantic Foundation for Role-Related Concepts in Enterprise Modelling, IEEE International EDOC Conference, 2008, Munique. 2008.
2. Almeida, J.P.A.; Guizzardi, G. On the Foundation for Roles in RM-ODP: Contributions from Conceptual Modelling, 4th Intl. Workshop on ODP for Enterprise Computing (WODPEC 2007), IEEE International EDOC Conference (EDOC 2007), Maryland, USA.
3. Almeida, J.P.A.; Guizzardi, G.; Santos JR., P. S. . Applying and Extending a Semantic Foundation for Role-Related Concepts in Enterprise Modelling. International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS), IGI-Global, 2010 (forthcoming).
4. Arantes, L. O.; Falbo, R. A.; Guizzardi, G., Evolving a Software Configuration Ontology, in Proceedings of the Second Brazilian Workshop on Ontologies and Metamodels for Software and Data Engineering (WOMSDE’07), João Pessoa, Brazil, 2007.
5. Benevides, A.B.; Guizzardi, G. A Model-Based Tool for Conceptual Modeling and Domain Ontology Engineering in OntoUML, 11th Intl. Conf. on Enterprise Information Systems (ICEIS), Milan, 2009. LNBIP.
6. Benevides, A.B.; Guizzardi, G.; Braga, B.F.B.; Almeida, J.P.A.; Assessing Modal Aspects of OntoUML Conceptual Models in Alloy, Intl. Workshop on Evolving Theories of Conceptual Modeling (ETheCoM 2009), at the 28th Intl. Conf. on Conceptual Modeling (ER 2009), Gramado, Brazil.
7. Calhau, R.F.; Falbo, R.A. Uma Abordagem Baseada em Ontologias para a Integração de Ferramentas de Apoio À Gerência de Configuração em um Ambiente de Desenvolvimento de Software. In: III Workshop on Ontologies and Metamodeling in Software and Data Engineering, 2008, Campinas. Anais do III WOMSDE, 2008. p. 61-72.
8. Calvi, C.Z. Gerenciamento de Serviços de TI e Modelagem de Processos de Configuração ITIL® em uma Plataforma de Serviços Sensíveis a Contexto, Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática, Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

9. Falbo, R. A. ; Bertollo, Gleidson . Establishing a Common Vocabulary for Software Organizations Understand Software Processes. *International Journal on Business Process Integration and Management (IJBPIIM)*, 2010 (forthcoming).
10. Falbo, R.A., Natali, A. C. C., Mian, P. G., Bertollo, G., Ruy, F. B., ODE: Ontology-based software Development Environment. IX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, La Plata, Argentina, Outubro 2003.
11. Falbo, R.A.; Menezes, C.S.; Rocha, A.R. Using Ontologies to Improve Knowledge Integration in Software Engineering Environments Proceedings of the World Multiconference on Systemic, Cybernetics and Informatics / 4th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis, SCI'98/ISAS'98, Orlando, USA, July 1998.
12. Gonçalves, B. N.; Zamborlini, V.; Guizzardi, G. An Ontological Analysis of the Electrocardiogram. *Electronic Journal of Communication, Information and Innovation in Health*, 2009.
13. Guarino, N.; Guizzardi, G., In the Defense of Ontological Foundations for Conceptual Modeling, *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol.18, No. 1, ISSN 0905-0167, 2006.
14. Guizzardi, G. Modal Aspects of Object Types and Part-Whole Relations and the de re/de dicto distinction, 19th Intl Conf. on Advanced Information Systems Engineering (CAISE'07), Trondheim, 2007.
15. Guizzardi, G. The Problem of Transitivity of Part-Whole Relations in Conceptual Modeling Revisited, 21st Intl. Conf. on Advanced Information Systems Engineering (CAISE'09), Amsterdam, The Netherlands, 2009.
16. Guizzardi, G., Falbo, R. A., Guizzardi, R. S. S. A importância de Ontologias de Fundamentação para a Engenharia de Ontologias de Domínio: o caso do domínio de Processos de Software. *IEEE Transactions Latin America*. v. 6, p. 244-251, 2008.
17. Guizzardi, G., *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*, ISBN 90-75176-81-3, Universal Press, The Netherlands, 2005.
18. Guizzardi, G.; Falbo, R.A.; Pereira Filho, J.G. Using objects and Patterns to implement domain ontologies, *Journal of Brazilian Computer Society (JBACS)*, Special Issue on Software Engineering (ISSN 0104-6500), Volume 8, Number 1, July 2002.
19. Guizzardi, G.; Halpin, T., *Ontological Foundations for Conceptual Modeling*, *Applied Ontology*, pp. 91-110, Volume 3, Number 1-2 / 2008, ISSN 1570-5838.
20. Guizzardi, G.; Lopes, M.; Baião, F.; Falbo, R. On the importance of truly ontological representation languages, *International Journal of Information Systems Modeling and Design (IJISMD)*, IGI-Global, 2010 (forthcoming).
21. Guizzardi, G.; Masolo, C.; Borgo, S. In the Defense of a Trope-Based Ontology for Conceptual Modeling: An Example with the Foundations of Attributes, Weak Entities and Datatypes, 25th Intl. Conf. on Conceptual Modeling (ER'2006), Arizona, USA. LNCS Vol. 4215, Springer-Verlag, Berlin, 2006.
22. Guizzardi, G.; Wagner, G. On A Unified Foundational Ontology and some Applications of it in Business Modeling, *Open INTEROP Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability*, at the 16th Intl. Conf. on Advances in Information Systems Engineering (CAiSE), Latvia, 2004.
23. Guizzardi, G.; Wagner, G.; Guarino, N.; van Sinderen, M. An Ontologically Well-Founded Profile for UML Conceptual Models, 16th Intl. Conf. on Advances in Information Systems Engineering (CAiSE), Latvia, 2004. LNCS 3084, ISBN 3-540-22151-4.
24. Guizzardi, G.; What's in a Relationship: An Ontological Analysis, Proceedings of the 25th Intl. Conf. on Conceptual Modeling (ER 2008), Barcelona, Espanha, LNCS 5231, pp. 83-97, 2008.
25. Guizzardi, R. S. S., Guizzardi, G. Ontology-Based Transformation Framework from Tropos to AORML In in *Social Modeling for Requirements Engineering*, P. Giorgini, N. Maiden, J. Mylopoulos, E. Yu (eds.) *Cooperative Information Systems Series*, MIT Press, Boston (2010).
26. Guizzardi, R.S.S.; Guizzardi, G.; Perini, A.; Mylopoulos, J; *Towards an Ontological Account of Agent Oriented Goals*, *Software Engineering for Multi-Agent Systems*, Vol. V, Springer-Verlag, Berlin, ISBN 978-3-540-73130-6, 2007.
27. Moro, R.D. ; Falbo, R.A. Uma Ontologia para o Domínio de Qualidade de Software com Foco em Produtos e Processos de Software. In: *III Workshop on Ontologies and Metamodeling in Software and Data Engineering*, 2008, Campinas. *Anais do III WOMSDE*, 2008. p. 37-48.
28. Nardi, J.C.; Falbo, R.A. Uma Ontologia de Requisitos de Software. In: *9º Workshop Iberoamericano de Ingeniería de Requisitos y Ambientes de Software (IDEAS 2006)*, 2006.