



**Mauricio Henrique de Souza Bomfim**

**Um método e um ambiente para o desenvolvimento  
de aplicações na Web Semântica**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Daniel Schwabe

Rio de Janeiro  
Janeiro de 2011



**Mauricio Henrique de Souza Bomfim**

**Um método e um ambiente para o desenvolvimento  
de aplicações na Web Semântica**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico e Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Daniel Schwabe  
Orientador  
Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Edward Hermann Haeusler  
Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof<sup>a</sup>. Fernanda Lima  
Departamento de Ciência da Computação – UnB

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de janeiro de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

### **Mauricio Henrique de Souza Bomfim**

Graduou-se em Informática com Ênfase em Análise de Sistemas pela Universidade Estácio de Sá em 2007. Atuou como Analista de Suporte, Analista de Sistemas e Desenvolvedor de aplicações Web, sistemas para dispositivos móveis e sistemas embarcados. Possui interesse acadêmico e profissional nas áreas de engenharia de software, hipertexto e multimídia, linguagens de programação e tecnologias para Web Semântica.

#### Ficha Catalográfica

Bomfim, Mauricio Henrique de Souza

Um método e um ambiente para o desenvolvimento de aplicações na web semântica / Mauricio Henrique de Souza Bomfim ; orientador: Daniel Schwabe. – 2011.

196 f.: il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2011.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Aplicações hipermídia. 3. Web semântica. 4. Linked data. 5. SHDM. 6. Ambiente de desenvolvimento. 7. Ontologias. I. Schwabe, Daniel. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Dedico este trabalho à minha esposa Elis e minha filha Júlia.

## Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Daniel Schwabe pelo incentivo, confiança e por me apresentar grandes desafios.

À Capes e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À Profa. Fernanda Lima e ao Prof. Edward Hermann, por tão prontamente atenderem ao meu pedido de participação na avaliação desta dissertação.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

Aos amigos do laboratório GIGA Raul Nunes e Dado Sutter pelo apoio e compreensão nos momentos em que precisei me ausentar do trabalho para me dedicar a esta dissertação.

Aos amigos André Carregal e Leonardo Godinho pelo incentivo e por me mostrarem que esta conquista era possível.

Ao amigo Vagner Nascimento que sempre esteve ao meu lado nos estudos, no trabalho e na vida.

À minha esposa Elis e minha filha Júlia, meus amores.

À toda minha família pelo apoio incondicional.

## Resumo

Bomfim, Mauricio Henrique de Souza; Schwabe, Daniel. **Um método e um ambiente para o desenvolvimento de aplicações na Web Semântica**. Rio de Janeiro, 2011. 196p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente disponibilização de dados e ontologias segundo os padrões da Web Semântica tem levado à necessidade de criação de métodos e ferramentas de desenvolvimento de aplicações que considerem a utilização e disponibilização dos dados distribuídos na rede segundo estes padrões. O objetivo desta dissertação é apresentar um método, incluindo processos e modelos, e um ambiente para o desenvolvimento de aplicações na Web Semântica. Mais especificamente, este trabalho apresenta a evolução do método SHDM (*Semantic Hypermedia Design Method*), que é um método para o desenvolvimento de aplicações hipermídia na Web Semântica e o Synth, que é um ambiente de desenvolvimento de aplicações projetadas segundo o método SHDM.

## Palavras-chave

Aplicações Hipermídia; Web Semântica; *Linked Data*; SHDM; Ambiente de Desenvolvimento; Ontologias.

## Abstract

Bomfim, Mauricio Henrique de Souza; Schwabe, Daniel (Advisor). **A method and an environment for the Semantic Web applications development.** Rio de Janeiro, 2011. 196p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The growing availability of data and ontologies according to the Semantic Web standards has led to the need of methods and tools for applications development that take account the use and availability of the data distributed according to these standards. The goal of this dissertation is to present a method, including processes and models, and an environment for the Semantic Web applications development. More specifically, this work shows the evolution of the SHDM (Semantic Hypermedia Design Method), which is a method for the Semantic Web hypermedia application development and the Synth, which is an environment to build applications designed according to the SHDM.

## Keywords

Hypermedia Applications; Semantic Web; Linked Data; SHDM; Development Environment; Ontologies.

## Sumário

1	Introdução	17
1.1.	Objetivos	19
1.2.	Organização da dissertação	20
2	Fundamentos	21
2.1.	Web Semântica	21
2.2.	RDF	22
2.3.	RDF Schema	25
2.4.	OWL	26
2.5.	SPARQL	27
2.6.	<i>Linked Data</i>	29
2.6.1.	<i>Linked Data</i> e o modelo de dados RDF	31
2.6.2.	Criação de URIs	32
2.6.3.	Que vocabulários usar para representar informações?	33
2.6.4.	O que deve ser retornado como descrição RDF de um URI?	37
2.6.5.	Como gerar <i>links</i> RDF para outras fontes de dados?	38
2.7.	Aplicações na Web Semântica	39
2.7.1.	Aplicações Corporativas na Web Semântica	40
2.8.	Métodos para construção de aplicações hypermídia	41
2.8.1.	OOHDM e SHDM	41
2.8.2.	UWE e WebML	41
2.8.3.	OOWS	42
2.8.4.	Hera	43
3	O método SHDM	45
3.1.	Etapas	45
3.2.	Levantamento de Requisitos	48
3.3.	Modelagem de Domínio	49
3.3.1.	Projeto de Ontologias de Domínio	50
3.3.2.	Seleção de repositórios de dados ( <i>Datasets</i> )	53
3.4.	Projeto Navegacional	55
3.4.1.	Mudanças no modelo navegacional	56
3.5.	Projeto Comportamental	65



3.5.1. Comportamentos pré-definidos	68
3.6. Projeto de Interfaces	70
4 O ambiente de desenvolvimento Synth	73
4.1. O Synth e o HyperDE	73
4.2. Uma arquitetura de software modular	74
4.2.1. Visão conceitual da arquitetura	75
4.2.2. Colaboração entre os módulos	77
4.3. Arquitetura de implementação	81
4.3.1. Dados RDF	82
4.3.2. Jena	82
4.3.3. ActiveRDF	84
4.3.4. Ruby on Rails	85
4.3.5. Synth	88
4.4. Ambiente de autoria	102
4.4.1. Tela inicial	104
4.4.2. Modelagem de domínio	106
4.4.3. Projeto navegacional	121
4.4.4. Projeto comportamental	143
4.4.5. Projeto de interface	148
4.5. Execução da aplicação	154
4.6. Ferramenta de importação de dados RDF	155
5 Exemplos	157
5.1. Produção bibliográfica da PUC-Rio	157
5.1.1. Modelagem de domínio	158
5.1.2. Projeto Navegacional	159
5.1.3. Outras etapas	163
5.2. <i>Semantic Issue Tracker</i>	167
5.2.1. Modelo de domínio	168
5.2.2. Projeto Navegacional	170
5.2.3. Outras etapas	175
6 Conclusão	179
6.1. Trabalhos relacionados com o método SHDM	179
6.2. Trabalhos relacionados com o ambiente Synth	180
6.3. Contribuições	182

6.4. Trabalhos futuros	184
7 Referências bibliográficas	186
Apêndice A – Vocabulário SHDM	191

## Lista de figuras

Figura 1 – Nuvem <i>LOD</i> ( <i>LOD cloud diagram</i> ) em Setembro de 2010.	18
Figura 2 – Um grafo RDF que descreve Eric Miller	23
Figura 3 – Hierarquia de classes de veículos em RDFS	26
Figura 4 – Modelos do Hera	43
Figura 5 - Exemplo de UID como apresentado por [Leite 01]	49
Figura 6 – Ontologia de domínio gerada a partir de um esquema conceitual de classes	52
Figura 7 – Exemplo de um grafo RDF de instâncias de domínio	57
Figura 8 – Exemplo de um grafo RDF de instâncias navegacionais	58
Figura 9 – Esquema de Contextos Navegacionais SHDM da Ontologia de Artes	61
Figura 10 – Grafo RDF enriquecido com atributos navegacionais	63
Figura 11 – Vocabulário do modelo de operações	66
Figura 12 – Meta modelo de Interface Abstrata	71
Figura 13 – Visão conceitual da arquitetura	75
Figura 14 – Colaboração entre os módulos	78
Figura 15 – Colaboração entre módulos em um caso concreto	81
Figura 16 – Arquitetura de implementação Synth	82
Figura 17 – Diagrama de classes do módulo de domínio	89
Figura 18 – Diagrama de classes do módulo navegacional	91
Figura 19 – Classes envolvidas na instanciação de um contexto navegacional	92
Figura 20 – Sequência de passos para a instanciação de um contexto	94
Figura 21 – Diagrama de classes envolvidas na instanciação de um contexto navegacional	95
Figura 22 – Diagrama de classes envolvidas na instanciação de um atributo navegacional	96
Figura 23 - Relações entre as classes do módulo navegacional e um índice	97
Figura 24 – Diagrama de classes de controladores do módulo navegacional	97

Figura 25 – Diagrama de classes do módulo comportamental	98
Figura 26 – Diagrama de classes do módulo de interface	101
Figura 27 - Tela de listagem de contextos navegacionais	103
Figura 28 – Tela inicial do ambiente de autoria do Synth	104
Figura 29 – Tela e criação de uma nova aplicação no Synth	105
Figura 30 – Tela de listagem de ontologias de domínio	106
Figura 31 – Tela de cadastro de uma nova ontologia	107
Figura 32 – Tela de edição de uma ontologia	108
Figura 33 – Tela de listagem de namespaces	109
Figura 34 – Tela de cadastro de um novo <i>namespace</i>	110
Figura 35 – Tela de listagem dos repositórios	111
Figura 36 – Tela de cadastro de um novo repositório	112
Figura 37 – Tela de edição de um repositório	112
Figura 38 – Editor RDF	113
Figura 39 – Tela inicial de recursos do editor RDF	114
Figura 40 – Listagem de recursos da classe <i>bibo:AcademicArticle</i>	115
Figura 41 – Tela de edição das propriedades de um recurso	116
Figura 42 – Detalhe da edição do valor de uma propriedade	117
Figura 43 – Detalhe da adição de uma nova propriedade a um recurso	118
Figura 44 – Tela de cadastro de um novo recurso	119
Figura 45 – Tela de edição de propriedades de uma classe	120
Figura 46 – Tela de edição de propriedades de uma propriedade	121
Figura 47 – Tela de listagem de contextos navegacionais	122
Figura 48 – Tela de edição de um contexto navegacional	123
Figura 49 – Tela de listagem de índices navegacionais	131
Figura 50 – Tela de edição de um índice navegacional	132
Figura 51 – Detalhe da tabela de atributos do tipo índice	133
Figura 52 – Detalhe da tabela de atributos do tipo âncora para contexto	134
Figura 53 – Detalhe da tabela de atributos do tipo âncora para índice	135
Figura 54 – Resultado do índice <i>AllPersonsIdx</i>	136
Figura 55 – Tela de listagem de <i>landmarks</i>	137
Figura 56 – Tela de edição de <i>landmark</i> do tipo âncora para índice	138
Figura 57 – Tela de edição de <i>landmark</i> do tipo âncora para contexto	139

Figura 58 – Tela de listagem de classes em contexto	140
Figura 59 – Tela de edição de uma classe em contexto	141
Figura 60 – Tela resultante do acesso a um nó da classe <code>bibo:Article</code> no contexto <code>ArticlesByPerson</code>	142
Figura 61 – Tela listagem de operações	143
Figura 62 – Tela edição de uma operação	145
Figura 63 – Detalhe da tabela de parâmetros de uma operação	146
Figura 64 – Detalhe da tabela pré-condições	147
Figura 65 – Detalhe da tabela pós-condições	147
Figura 66 – Telas de listagem e edição de interfaces	150
Figura 67 – Telas de listagem e edição de folhas de estilo	151
Figura 68 – Telas de listagem e edição de <i>widgets</i> concretos	152
Figura 69 – Telas de listagem e edição de efeitos	153
Figura 70 – Tela inicial de uma aplicação construída com o Synth	155
Figura 71 – Ontologia de domínio da aplicação “Lattes”	158
Figura 72 – Esquema de contextos da aplicação “Lattes”	160
Figura 73 – Tela do índice “AllPersons”	164
Figura 74 – Tela de acesso a um nó no contexto “PersonsAlpha”	165
Figura 75 – Tela do índice “AllArticles”	165
Figura 76 – Tela de acesso a um nó no contexto “ArticlesAlpha”	166
Figura 77 – Tela do índice “ResourcesByLabel” com <code>label_string</code> igual a “semantic”	166
Figura 78 – Tela de acesso a um nó contexto “byLabel”	167
Figura 79 – Ontologia da aplicação <i>Semantic Issue Tracker</i>	169
Figura 80 – Esquema de contextos da aplic. <i>Semantic Issue Tracker</i>	170
Figura 81 – Tela do índice “ListTablssueIdx”	175
Figura 82 – Tela de acesso a um nó no contexto “AllTablssues”	176
Figura 83 – Tela do contexto “IssueByClass” (implementação de “IssueByCategory” e “IssueByState”)	176
Figura 84 – Tela do Contexto “RelatedBy”, apresentando um nó no contexto “MessageByIssue”	177
Figura 85 - Tela do índice “AllTablssueIdx”	177
Figura 86 – Tela de edição de uma instância de <code>track:Tablssue</code> , resultado da integração da aplicação com o editor RDF do Synth	178

## Lista de quadros

Quadro 1 – RDF/XML descrevendo Eric Miller	24
Quadro 2 – Expressão de consulta em linguagem SPARQL	27
Quadro 3 - Expressão de consulta em SPARQL 1.1 com extensões de federação	29
Quadro 4 - Exemplo de definição de uma classe e uma propriedade	37
Quadro 5 – Exemplo de descrição de recurso RDF	38
Quadro 6 – Exemplo de descrição de repositório de dados com void na notação Turtle	54
Quadro 7 – Especificação de um contexto com regra de seleção em linguagem SPARQL	61
Quadro 8 – Expressão de consulta em SPARQL 1.1 com extensões de federação	62
Quadro 9 – Descrição de um atributo navegacional “âncora para contexto” em uma classe de domínio	62
Quadro 10 – Descrição de uma operação em RDF	67
Quadro 11 – Especificação do código da operação de navegação em contexto do Synth	69
Quadro 12 – Exemplo de manipulação de recursos RDF com a DSL do ActiveRDF	84
Quadro 13 – Exemplos de consultas com a DSL do ActiveRDF	84
Quadro 14 – Exemplo de execução de uma operação interna	99
Quadro 15 – Exemplo de execução de uma operação interna que possui parâmetros	99
Quadro 16 – Padrão de URLs do Synth	102
Quadro 17 – Exemplo de consulta de contexto em um repositório externo	111
Quadro 18 – Exemplo de expressão de consulta de contexto em linguagem SPARQL	125
Quadro 19 – Exemplo de expressão de consulta SPARQL com um parâmetro de contexto	125

Quadro 20 – Exemplos de consultas de contexto com a DSL do ActiveRDF	126
Quadro 21 – Exemplo de combinação da DSL do ActiveRDF com métodos Ruby	127
Quadro 22 – Exemplo de expressão de consulta com o módulo AcitveRDF::Query	128
Quadro 23 – Exemplo de expressão de consulta na linguagem SynthQL	129
Quadro 24 – Exemplo de consulta pela presença da propriedade foaf:name	131
Quadro 25 – Exemplo de consulta SynthQL usando um valor de parâmetro de contexto	131
Quadro 26 – Código de descrição concreta de uma interface	149
Quadro 27 – Código da operação externa “init”	154
Quadro 28 – Exemplo de comando de importação	155
Quadro 29 – Especificação em RDF do contexto “ArticlesAlpha”	161
Quadro 30 – Especificação em RDF do contexto “byPerson”	161
Quadro 31 – Especificação em RDF do índice “AllArticles”	161
Quadro 32 – Especificação RDF do contexto “PersonsAlpha”	162
Quadro 33 – Especificação RDF do contexto “byArticle”	162
Quadro 34 – Especificação RDF do contexto “Co-Authors”	162
Quadro 35 – Especificação RDF do contexto “byLabel”	163
Quadro 36 – Especificação da operação “serach_url”	164
Quadro 37 – Especificação em RDF do contexto “AllTablssues”	171
Quadro 38 – Especificação em RDF do índice “ListTablssueldx”	172
Quadro 39 – Especificação RDF do contexto “IssueByClass”	173
Quadro 40 – Especificação em RDF do meta contexto “RelatedBy”	174
Quadro 41 – Especificação em RDF do atributo “Subscribers” da classe track:Tablssue	174

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Exemplos de prefixos de <i>namespaces</i>	25
Tabela 2 – Artefatos do método SHDM	47
Tabela 3 – Mapeamentos produzidos no mapeamento de classes navegacionais	56
Tabela 4 – Controladores de retaguarda do Synth	102
Tabela 5 – Cláusulas reservadas da linguagem SynthQL	130