



**Beatriz Alves De Maria**

**Usando a abordagem MDA no desenvolvimento de  
sistemas multi-agentes**

**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: Carlos J. P. Lucena  
Co-orientadora: Viviane Torres da Silva

Rio de Janeiro, 13 de abril de 2005



Beatriz Alves De Maria

## **Usando a abordagem MDA no desenvolvimento de sistemas multi-agentes**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a 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. Carlos José Pereira de Lucena**

Orientador

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Viviane Torres da Silva**

Co-Orientadora

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Simone Diniz Junqueira Barbosa**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de janeiro, 13 de abril de 2005

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

**Beatriz Alves De Maria**

Graduada em Engenharia de Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), em 2001.

Ficha Catalográfica

Maria, Beatriz Alves de

Usando a abordagem MDA no desenvolvimento de sistemas multi-agentes / Beatriz Alves De Maria; orientador: Carlos J. P. de Lucena ; co-orientadora: Viviane Torres da Silva. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2005.

153 f. : il. (col.) ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Sistemas multi-agentes 3. Agentes. 4. Linguagem de modelagem. 5. XMI. 6. MDA. 7. MAS-ML. I. Lucena, Carlos J. P. II. Silva, Viviane Torres da. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática IV. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

A meu orientador, Carlos Lucena, dedico minha total admiração e respeito. Agradeço-lhe, por sua paciência, compreensão e, principalmente, pela confiança em mim depositada.

À minha co-orientadora, Viviane Silva, pela atenção dedicada a este trabalho, disponibilidade e paciência para revisar os meus textos e apontar os meus erros.

Aos meus pais, Carlos e Ana, por tudo que fizeram e fazem por mim, pelo amor, carinho, união e apoio incondicional.

Ao meu irmão, Eduardo, pela amizade e companheirismo.

Ao meu avô, Orlando, pelo incentivo e apoio.

A Felipe, por todo amor, carinho, amizade e por estar sempre presente durante esses anos, além de todo o incentivo e compreensão durante esta etapa.

Aos colegas do laboratório, pelas contribuições, sugestões e correções para a minha dissertação.

Aos colegas de trabalho pela ajuda e apoio durante este período. Em especial a Carlos Fontenelle pela oportunidade e incentivo.

A Vera Menezes, por estar sempre disposta a ajudar.

A Deus e a Santa Rita, pela oportunidade de realização de mais este importante passo em minha vida.

## Resumo

De Maria, Beatriz Alves; Lucena, Carlos José Pereira; Silva, Viviane Torres. **Usando a abordagem MDA no desenvolvimento de Sistemas Multi-Agentes**. Rio de Janeiro, 2005. 147p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sistemas multi-agentes (SMA) diferem de sistemas que não são baseados em agentes devido ao fato dos agentes serem unidades autônomas capazes de ações flexíveis e inteligentes. Por este motivo é proposto na literatura um grande número de metodologias, frameworks e linguagens para dar apoio a construção deste tipo de sistema. Muitas dessas metodologias e suas ferramentas provêm da comunidade de inteligência artificial e estão focadas em uma arquitetura específica de agentes. Este trabalho propõe o uso da arquitetura Model Driven Architecture (MDA), descrita pela OMG, no processo de desenvolvimento de SMA. MDA é uma arquitetura para desenvolvimento de software estruturada em etapas de modelagem que dá suporte a todo o ciclo de desenvolvimento de um sistema. O processo de desenvolvimento proposto está dividido de acordo com as etapas apresentadas por MDA. Na etapa PIM, onde são especificados modelos independentes de plataforma, propomos a utilização da linguagem de modelagem MAS-ML para SMA. Na etapa PSM, onde são definidos modelos específicos de plataforma, propomos utilizar a linguagem de modelagem UML. Os modelos MAS-ML definidos na etapa PIM são transformados em modelos UML na etapa PSM com base em um framework para implementação de SMA utilizando orientação a objetos. Na última etapa do desenvolvimento, o código da aplicação é gerado a partir dos modelos UML. Este trabalho detalha as etapas PIM e PSM do processo de desenvolvimento de SMA e as transformações necessárias para a geração de código. Para demonstrar a aplicação do processo proposto são apresentadas duas aplicações de SMA desenvolvidas utilizando o mesmo. Ao final, apresenta-se a ferramenta *MAS-ML Tool* desenvolvida para dar apoio ao processo de desenvolvimento proposto. Esta ferramenta implementa todas as etapas presentes no processo, permitindo assim a implementação de SMA a partir de sua modelagem.

## Palavras-Chave

Sistemas multi-agentes; agentes; linguagem de modelagem; XMI; MDA; MAS-ML

## Abstract

De Maria, Beatriz Alves; Lucena, Carlos José Pereira; Silva, Viviane Torres. **MDA based approach for developing multi-agent systems**. Rio de Janeiro, 2005. 147p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Multi-agent systems (MAS) differ from non-agent systems because agents are intended to be autonomous units capable of flexible and intelligent actions. For this reason it is proposed in the literature a great number of methodologies frameworks and languages to support the development of these systems. Several methodologies and their tools are come from artificial intelligent community and are focused in a specific agent architecture. This work proposes the use of the Model Driven Architecture (MDA), described by OMG, in the development process of MAS. MDA specifies a structured software development process in modeling stages that supports all system development life cycle. The proposed development process is divided according to the MDA stages. In PIM stage, where platform independent models are specified, we propose the use of MAS-ML modeling language for MAS. In PSM stage, where platform specific models are specified, we propose the use of UML modeling language. The MAS-ML models defined on PIM stage are transformed in UML models at PSM stage, based on an object-oriented framework for implementing MAS. In the last development stage, the application code is generated from UML models. This work details the PIM and PSM stages of the MAS development process and the models transformations to generate source code. To exemplify the applicability of the proposed MAS development process, two different MAS applications were developed based on the process. Finally, a MAS-ML tool is presented. Such tool was developed to support the proposed development process. The tool implements all stages presented in the process, allowing the modeling and implementation of MAS.

## Keywords

Multi-agent systems; agents; modeling language; XMI; MDA; MAS-ML

# Sumário

1	Introdução	12
1.1.	Principais Contribuições	15
1.2.	Organização	16
2	Fundamentos Teóricos e Tecnologias Básicas	18
2.1.	Sistemas Multi-Agentes	18
2.2.	MAS-ML	19
2.3.	Framework ASF	22
2.4.	MDA	24
2.5.	XMI	25
3	Trabalhos Relacionados	28
3.1.	Metodologias existentes para desenvolvimento de SMA	28
3.1.1.	MaSE	28
3.1.2.	Tropos	29
3.1.3.	Prometheus	30
3.1.4.	PASSI	31
3.1.5.	MESSAGE	32
3.1.6.	Gaia	33
3.1.7.	Considerações sobre as metodologias apresentadas	34
3.2.	Trabalhos que utilizam a abordagem de MDA	35
3.2.1.	Abordagem de MDA e a metodologia Tropos	35
3.2.2.	MetaDIMA	36
3.2.3.	Projeto e implementação orientada a agentes com MDA	37
3.2.4.	Considerações sobre os trabalhos apresentados	38
4	Um Processo para Desenvolvimento de Sistemas Multi-Agentes	39
4.1.	Modelo CIM	41
4.2.	Modelo PIM	42
4.3.	Transformação do modelo PIM para o modelo PSM	44
4.3.1.	Primeiro Passo: Criação do MAS-ML XMI	45
4.3.2.	Segundo passo: Criação do UML XMI	51

4.3.3. Classificação da transformação modelo-em-modelo	56
4.4. Modelo PSM	58
4.5. Transformação do modelo PSM para código	60
5 Exemplos de aplicações	63
5.1. <i>Virtual MarketPlace</i>	63
5.2. <i>Expert Committee</i>	71
6 Ferramenta de Apoio ao Processo de Desenvolvimento de Sistemas Multi-Agents	82
7 Considerações Finais	88
7.1. Conclusão	88
7.2. Principais Contribuições	89
7.3. Trabalhos Futuros	90
8 Referências	92
9 Anexo I – MAS-ML DTD	97
10 Anexo II – Exemplo Virtual MarketPlace	103
10.1. MAS-ML XMI	103
10.2. UML XMI	115
11 Anexo III – Exemplo Expert Committee	133
11.1. MAS-ML XMI	133



## Lista de figuras

Figura 1 – Entidades e relacionamentos propostos por TAO	20
Figura 2 - Classes existentes no framework ASF	23
Figura 3 – O relacionamento entre CIM, PIM, PSM e código	25
Figura 4 – Processo de Desenvolvimento Proposto	40
Figura 5 – Transformação de MAS-ML para UML de um agente	53
Figura 6 - Transformação de MAS-ML para UML de uma organização	54
Figura 7 - Transformação de MAS-ML para UML de um papel de agente	55
Figura 8 – Modelo UML com instanciações geradas com a transformação	60
Figura 9 - Diagrama de Organização da aplicação Virtual MarketPlace	64
Figura 10 – Representação gráfica em MAS-ML da Loja Virtual	65
Figura 11 – Representação gráfica em MAS-ML do Comprador e Vendedor	66
Figura 12 – Representação gráfica em MAS-ML do Usuário	66
Figura 13 – Representação gráfica em MAS-ML do Lojista	67
Figura 14 – Representação gráfica em MAS-ML do Item, Desejo e Oferta	67
Figura 15 – Diagrama de classes com alguns elementos da Loja Virtual	70
Figura 16 –Diagrama de Organização da aplicação Expert Committee	73
Figura 17 – Representação gráfica em MAS-ML da Organização	73
Figura 18 – Representação gráfica em MAS-ML do Autor (papel de agente)	74
Figura 19 – Representação gráfica em MAS-ML do Chair	74
Figura 20 – Representação gráfica em MAS-ML do Membro	75
Figura 21 – Representação gráfica em MAS-ML do Revisor	75
Figura 22 – Representação gráfica em MAS-ML do Artigo e Pacote Revisão	75
Figura 23 – Representação gráfica em MAS-ML do Coordenador	76
Figura 24 – Representação gráfica em MAS-ML do Pesquisador	76
Figura 25 - Diagrama de classes com alguns elementos do Expert Comittee	79
Figura 26 - Interface Gráfica de MAS-ML Tool	83
Figura 27 – Interface Gráfica MAS-ML Tool, opção “Salvar” (Criação MAS-ML XMI)	84
Figura 28 - Interface Gráfica MAS-ML Tool, opção “Generate → UML XMI” (Criação UML XMI)	85
Figura 29 - Interface Gráfica MAS-ML Tool, opção “Generate → Java Code...” (Criação código fonte)	86

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Algumas meta-classes e estereótipos criadas por MAS-ML	20
Tabela 2 – Representação gráfica das entidades de MAS-ML	43
Tabela 3 - Representação gráfica dos relacionamentos de MAS-ML	44
Tabela 4 – Regras de transformação de elementos MAS-ML em classes OO, de acordo com o Framework ASF.	51

## Lista de quadros

Quadro 1 – Representação em MAS-ML XMI de um agente e suas propriedades	46
Quadro 2 – Representação em MAS-ML XMI de uma organização e suas propriedades	47
Quadro 3 - Representação em MAS-ML XMI de um papel de agente e suas propriedades	48
Quadro 4 - Representação em MAS-ML XMI de um papel de objeto e suas propriedades	48
Quadro 5 – Representação em MAS-ML XMI de ambiente ativo e passivo	49
Quadro 6 - Representação em MAS-ML XMI dos relacionamentos	49
Quadro 7 – Representação em MAS-ML XMI dos diagramas modelados	50
Quadro 8 – Trecho do UML XMI usado para representar um agente	53
Quadro 9 - Trecho do UML XMI usado para representar um papel de agente	55
Quadro 10 – Código gerado a partir do UML XMI referente a classe AgentRole do framework ASF	61
Quadro 11 – Código gerado a partir do UML XMI referente a classe Papel Agente da aplicação	61
Quadro 12 – Representação em MAS-ML XMI do Diagrama de Organização	67
Quadro 13 – Alguns elementos e propriedades em MAS-ML XMI do Virtual MarketPlace	68
Quadro 14 – Loja Virtual e Comprador do exemplo Virtual MarketPlace em UML XMI	69
Quadro 15 – Código do elemento Loja_Virtual gerado a partir do UML XMI	71
Quadro 16 - Código do elemento Comprador gerado a partir do UML XMI	71
Quadro 17 – Representação em MAS-ML XMI do Diagrama de Organização	76
Quadro 18 – Representação em MAS-ML XMI dos elementos Membro e Pesquisador	77
Quadro 19 – Membro e Pesquisador do exemplo Expert Committee em UML XMI	78
Quadro 20 - Código do elemento Membro gerado a partir do UML XMI	80
Quadro 21 - Código do elemento Pesquisador gerado a partir do UML XMI	80