

**Rodrigo de Barros Paes**

**Regulando a Interação de  
Agentes em Sistemas Abertos -  
uma Abordagem de Leis**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA**  
Programa de Pós-graduação em  
Informática

Rio de Janeiro  
Março de 2005

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Rodrigo de Barros Paes**

**Regulando a Interação de Agentes em  
Sistemas Abertos - uma Abordagem de Leis**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Prof. Carlos José Pereira de Lucena

Rio de Janeiro  
Março de 2005



**Rodrigo de Barros Paes**

**Regulando a Interação de Agentes em  
Sistemas Abertos - uma Abordagem de Leis**

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 Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Carlos José Pereira de Lucena**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Bruno Feijó**

PUC-Rio

**Prof. Simone Barbosa**

PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —  
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de Março de 2005

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

**Rodrigo de Barros Paes**

Ficha catalográfica

Paes, Rodrigo de Barros

Regulando a interação de agentes em sistemas abertos : uma abordagem de leis / Rodrigo de Barros Paes ; orientador: Carlos José Pereira de Lucena. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2005.

119 f. : il. ; 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. Interação. 4. Sistemas normativos. 5. Sistemas abertos. 6. Leis. I. Lucena, Carlos José Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

Ao professor Lucena pelos inúmeros ensinamentos científicos, pelas oportunidades que me foram concedidas, pelo exemplo de caráter e de competência profissional.

Ao professor Paulo Alencar pelo apoio que recebi no Canadá, além das várias e proveitosas discussões sobre este trabalho e sobre trabalhos futuros.

Ao professor Don Cowan também pelo grande apoio que me ofereceu no Canadá.

Ao Guga pela amizade, pelos conselhos, pela paciência nas nossas discussões e pela contribuição neste trabalho.

Ao Hyggo pelas contribuições a este trabalho, pela amizade mas, principalmente, pelas nossas conversas, muitas vezes filosóficas.

Aos meus amigos do LES, Gaúcho, Alessandro Véio, Uirá, Baiano, Viviane, Choren, por terem tornado divertidos estes dois anos no Rio e, é claro, por terem se tornado meus amigos.

A todos os outros amigos do LES pela convivência que me proporcionou muito aprendizado.

Ao Choren por ter revisado e ajudado com sugestões para os artigos que escrevemos.

Ao apoio e corajice incondicional da minha vovó Léa.

Ao também incondicional apoio do meu Pai.

A todas as minhas tias.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação.

A CAPES pelo apoio financeiro.

## Resumo

Paes, Rodrigo; Lucena, Carlos José Pereira de. **Regulando a Interação de Agentes em Sistemas Abertos - uma Abordagem de Leis**. Rio de Janeiro, 2005. 119p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nesta dissertação, apresenta-se uma abordagem para regular a interação dos agentes que fazem parte de um sistema multi-agente aberto. Em sistemas abertos, os agentes podem ser não-cooperativos, estão imersos em um ambiente altamente imprevisível e, freqüentemente, os outros agentes que compõem o sistema não são conhecidos *a priori*. Para algumas classes de aplicações, esta imprevisibilidade não é adequada, podendo levar a falhas de software. Desta forma, é proposta uma abordagem baseada em leis de interação para construir sistemas multi-agentes abertos, onde um controle sobre o comportamento dos agentes é esperado. Propõe-se um modelo conceitual para a especificação da forma como as interações são reguladas em um sistema multi-agente. Este modelo conceitual trata conceitos como cenas, normas e restrições de forma integrada. Além disso, a interação entre os agentes deve ser monitorada e as leis que foram especificadas devem ser aplicadas. Para isto, propõe-se uma linguagem declarativa para a especificação da interação de acordo com os elementos do modelo conceitual e uma infra-estrutura de software que age como mediador das interações garantindo que elas estejam de acordo com as especificações.

## Palavras-chave

Sistemas multi-agentes. Interação. Sistemas normativos. Sistemas abertos. Leis.

## Abstract

Paes, Rodrigo; Lucena, Carlos José Pereira de. **Regulating Agent's Interaction - a Law Enforcement Approach**. Rio de Janeiro, 2005. 119p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this work, we propose an approach for regulating agents' interaction on an open multi-agent system. In open systems, agents are immersed in a highly unpredictable environment, they can be self-interested, and other agents are frequently unknown beforehand. We argue that, in some applications, unexpected behavior may lead to system faults. For this reason, we propose a law enforcement approach to build open multi-agent systems where a certain degree of control over agents' behavior is desirable. A conceptual model is proposed to specify how the interactions of an open multi-agent system should happen. This model deals with concepts such as norms, constraints and scenes in a integrated way. We also propose a declarative language that allows the interaction's specification according to the elements that compose the conceptual model, and a software infrastructure that acts as a mediator monitoring and enforcing agents' interaction.

## Keywords

Multi-agent systems; Interaction; Normative systems; Open Systems; Laws.

## Conteúdo

|      |   |           |
|------|---|-----------|
| 1    | Introdução  | <b>11</b> |
| 1.1  | Definição do Problema   | 11        |
| 1.2  | Solução proposta  | 12        |
| 1.3  | Contribuições   | 13        |
| 1.4  | Organização da Dissertação                                    | 14        |
| 2    | Fundamentos   | <b>15</b> |
| 2.1  | Sistemas Abertos  | 15        |
| 2.2  | Sistemas Multi-Agentes  | 16        |
| 3    | Trabalhos Relacionados  | <b>21</b> |
| 3.1  | Abordagem <i>Interagent</i> para o desenvolvimento de agentes | 21        |
| 3.2  | Instituições Eletrônicas                                      | 22        |
| 3.3  | Normas abstratas, estatutos e instituições eletrônicas        | 25        |
| 3.4  | Agentes deliberativos: princípios e arquitetura               | 26        |
| 3.5  | Adoção de normas em um agente deliberativo                    | 27        |
| 3.6  | A abordagem LGI - Law-Governed Interaction                    | 28        |
| 3.7  | Outros trabalhos  | 29        |
| 4    | Modelo Conceitual   | <b>34</b> |
| 4.1  | Eventos: relacionando os conceitos                            | 34        |
| 4.2  | Agente e Mensagem   | 35        |
| 4.3  | Protocolo, Estado e Transição                                 | 37        |
| 4.4  | Relógio   | 39        |
| 4.5  | Norma   | 40        |
| 4.6  | Cena  | 41        |
| 4.7  | Navegando entre as Cenas                                      | 43        |
| 4.8  | LawOrganization   | 45        |
| 4.9  | Restrições  | 46        |
| 4.10 | Ações   | 47        |
| 5    | Suporte de Software   | <b>49</b> |
| 5.1  | Modelo de Interação   | 50        |
| 5.2  | Módulo de Comunicação   | 52        |
| 5.3  | Agente Mediador   | 56        |
| 5.4  | Módulo de Suporte ao Desenvolvedor de Agentes                 | 70        |
| 6    | Estudo de caso: Aeroporto                                     | <b>83</b> |
| 6.1  | Utilizando os conceitos do modelo conceitual                  | 84        |
| 7    | Discussões e trabalhos futuros                                | <b>95</b> |
|      | Referências Bibliográficas                                    | <b>98</b> |



|   |                    |            |
|---|--------------------|------------|
| A | A Lei do Aeroporto | <b>106</b> |
| B | Gramática do XMLaw | <b>111</b> |

## Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.1  | Modelo Conceitual  | 35 |
| 4.2  | Cadeia de Eventos  | 35 |
| 4.3  | Modelo Conceitual: Agente e Mensagem                             | 36 |
| 4.4  | Modelo Conceitual: Foco no Protocolo                             | 37 |
| 4.5  | Ciclo de Vida do Relógio   | 40 |
| 4.6  | Atividades de uma Ação   | 48 |
| 5.1  | Framework: Módulos e Desenvolvedores                             | 51 |
| 5.2  | Modelo de Interação para a Aplicação das Leis                    | 51 |
| 5.3  | Camada de Comunicação  | 54 |
| 5.4  | Módulo de Mensagens  | 56 |
| 5.5  | Atividades do mediador   | 57 |
| 5.6  | Tipos de Eventos   | 58 |
| 5.7  | IEvent Interface   | 58 |
| 5.8  | Problema com a Implementação Usual da Notificação de Eventos     | 60 |
| 5.9  | Observer e Subject   | 61 |
| 5.10 | Módulo de Triggers   | 63 |
| 5.11 | Classe <i>Context</i>  | 64 |
| 5.12 | Módulo de Relógio  | 65 |
| 5.13 | Normas   | 66 |
| 5.14 | Módulo de Protocolo  | 67 |
| 5.15 | Atividades de uma Transição                                      | 68 |
| 5.16 | Módulo de Cenas  | 69 |
| 5.17 | Módulo de Restrições   | 69 |
| 5.18 | Módulo de Ações  | 71 |
| 5.19 | Protocolo do Mediador - Mensagens que os Agentes Podem Enviar    | 73 |
| 5.20 | Protocolo do Mediador - Mensagens que os Mediadores Podem Enviar | 73 |
| 5.21 | Classe <i>Agent</i>  | 74 |
| 6.1  | Cenas Modularizando a Interação                                  | 84 |
| 6.2  | Símbolos Utilizados para Representar as Cenas                    | 85 |
| 6.3  | Leis da Cena <i>chegada</i>                                      | 85 |
| 6.4  | Cena: <i>chegada</i>   | 86 |
| 6.5  | Leis da cena <i>seleção</i>                                      | 87 |
| 6.6  | Cena: <i>seleção</i>   | 87 |
| 6.7  | Leis da cena <i>negociação</i>                                   | 89 |
| 6.8  | Cena: <i>negociação</i>  | 90 |
| 6.9  | Leis da cena <i>pagamento</i>                                    | 93 |
| 6.10 | Cena: <i>pagamento</i>   | 93 |

Most brilliant ideas happen when you are not thinking about  
your problem at all.

**Anonymous, .**