

TACIANA MELCOP L. DE MELO

**Estratégia Multi-Agente para  
Leilões Simultâneos de Bens Relacionados**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

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

Rio de Janeiro  
março de 2003



**Taciana Melcop L. de Melo**

**Estratégia Multi-Agente para  
Leilões Simultâneos de Bens Relacionados**

**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. Ruy Luiz Milidiú

Rio de Janeiro  
março de 2003



**Taciana Melcop L. de Melo**

**Estratégia Multi-Agente para  
Leilões Simultâneos de Bens Relacionados**

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. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Ruy Luiz Milidiú**

Orientador  
Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Bruno Feijó**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Carlos José Pereira de Lucena**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Marco Antonio Casanova**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Ney Dumont**

Coordenador Setorial do Centro  
Técnico e Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de março de 2003

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

### **Taciana Melcop L. de Melo**

Taciana Melcop Lacerda de Melo concluiu a graduação em ciência da computação pela Universidade Federal de Pernambuco em 1996. Durante o curso, Taciana esteve envolvida com diversas atividades de pesquisa nas áreas de inteligência artificial e engenharia de software. Ainda durante a graduação, trabalhou por quase dois anos no CESAR – Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife em projetos para o CNPq e Ministério da Ciência e Tecnologia. Mudou-se para o Rio para iniciar o mestrado. Este trabalho é fruto da sua pós-graduação.

#### Ficha Catalográfica

Melo, Taciana Melcop L. de  
Estratégia multi-agente para leilões  
simultâneos de bens relacionados / Taciana  
Melpop L. de Melo; orientador: Ruy Luiz  
Milidiú. – Rio de Janeiro : PUC,  
Departamento de Informática, 2003.

120 f. : il. ; 30 cm.

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses 2. Sistema multi-  
agente 3. Leilões relacionados 4. Comércio  
eletrônico 5. Programação inteira 6.  
Segmentação de demanda I. Milidiú, Ruy  
Luiz II. Pontifícia Universidade Católica do  
Rio de Janeiro. Departamento de  
Informática III. Título.

CDD: 004

*Dedico a minha mãe, Ana Glória, aos meus pais, LuizCláudio e Evaldo, e aos meus irmãos, Rick, Cau, Bina, Maroca e Lulinha.*

## Agradecimentos

Para a realização deste trabalho foi fundamental a ajuda de algumas pessoas. Sem elas, acredito que não teria conseguido concluir, ou, ao menos, chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais e irmãos, por mais uma vez compreenderem a minha ausência e por acreditarem em mim, até mais do que eu mesma. Agradeço a vocês tudo que sou e conquistei.

Ao meu orientador, Ruy, que durante o mestrado se revelou um amigo. Agradeço toda atenção, carinho, paciência, dedicação, incentivo, cuidado e preocupação.

À Viviane, Paulinha, Luciana, Lucimar e, especialmente, à Maíra, que me acompanham desde a chegada no Rio, sempre me ajudando e incentivando, ou, melhor ainda, sendo verdadeiras amigas.

Agradeço ao carinho intenso dos amigos que fiz durante o mestrado, Juliana Lucas, Edinalda, Lorenza, Milene, Alessandro Garcia, Elton, Alésio, Rogério Rodrigues, Guga, Daflon, LF (tecomm), Chicão, Daniel e Otávio. Obrigada pelos bons momentos, pela amizade de vocês e por todos os tipos de idéias trocadas, que não foram apenas sobre informática.

Ao Cristiano que desde o início me ajudou, não somente com o seu grande conhecimento, mas com a sua atenção, seu carinho e sua amizade.

Ao parceiro fiel de trabalhos Marcos Magalhães, por vários finais de semanas na PUC, sua paciência, sua ajuda e sua fundamental companhia.

Aos amigos do LEARN, Raúl Renteria, Fred Liporace, Artur Alves, Fábio, Lena, Hugo, Zezinho e Pedro Oguri, pelos conhecimentos trocados, pelos momentos de nerdeza, por toda assistência que vocês me deram e pela amizade.

Aos professores Poggi, Lucena, Bruno Feijó e Casanova, pela fundamental importância no meu mestrado.

Ao conterrâneo Rodrigo Correa por sua amizade, seu otimismo e felicidade contagiante que ajudaram a me manter viva nesses dois anos.

A minha família, em especial, a vovó Dulce e tio Mumum, e aos amigos da terrinha Lucy, Beta, Luluca, Pat, Tati, Fa, Katy, Dida, Bejinha, Brunão, Ivanzinho, Alê e Jorge, por toda torcida.

Aos meu pais cariocas Cristina e Wilson por todo apoio, atenção, dedicação e entusiasmo.

Agradeço PUC-Rio, CAPES e Fundação Padre Leonel Franca pelo apoio financeiro.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste mestrado. Este trabalho foi concluído com sucesso graças a ajuda todos vocês. Obrigada!

## Resumo

Melcop, Taciana; Milidiú, Ruy L.. **Estratégia Multi-Agente para Leilões Simultâneos de Bens Relacionados**. Rio de Janeiro, 2003. 120p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta um sistema multi-agente para negociação em leilões simultâneos de bens relacionados. A dissertação descreve a arquitetura multi-agente, como também a análise e desenvolvimento de estratégias para negociação em leilões simultâneos, onde são desejados bens relacionados, em contrapartida com bens isolados. Alguns problemas bem conhecidos em negociação foram identificados no projeto da arquitetura do sistema, tais como predição de preços, alocação de bens, tomadas de decisão, raciocínio sob incerteza e segmentação de demanda. Cada agente que compõe o sistema trata um destes subproblemas. Isto torna possível a aplicação de diferentes técnicas de computação para resolver os subproblemas separadamente e depois combinar as soluções. Utilizou-se o *Trading Agent Competition* (TAC) para exemplificar as técnicas examinadas. O TAC foi escolhido para testar as heurísticas desenvolvidas por apresentar um conjunto de características que se enquadram adequadamente no domínio em exame. Cada heurística desenvolvida foi testada e seus resultados comparados com edições anteriores do TAC. O sistema multi-agente apresentou uma boa performance em cenários competitivos testados usando o servidor TAC.

## Palavras-chave

Sistema Multi-Agente, Leilões Relacionados, Alocação de Bens, Programação Inteira, Segmentação de Demanda, Comércio Eletrônico

## Abstract

Melcop, Taciana; Milidiú, Ruy L.. **A Multi-Agent System for Simultaneous and Related Auctions**. Rio de Janeiro, 2003. 120p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

This work presents a multi-agent system to trade in simultaneous auctions of related goods. The dissertation describes the multi-agent architecture, and also the analysis and development of strategies for trading in simultaneous auctions, where the purchase of combined goods is required. Some well known problems in trading were identified in order to design the architecture, such as price prediction, good allocation, decision making, reasoning under uncertainty, and demand segmentation. Each agent that composes the system is concerned with one of those trading subproblems. This makes possible to apply different computational techniques to separately solve the subproblems and then combine the solutions. The Trading Agent Competition (TAC) is used to illustrate our approach. TAC was chosen to test the developed heuristics since it presents a set of characteristics that adequately fits the problem domain. Each heuristic developed was tested and had its results compared to TAC previous editions. Finally, the system shows a high performance on very competitive scenarios tested by using the TAC server environment.

## Keywords

Multi-Agent System, Related Auctions, Goods Allocation, Integer Programming, Demand Segmentation, Electronic Commerce

# Sumário

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....                                | 15 |
| 1.1 Motivação.....                               | 15 |
| 1.2 Resultados .....                             | 16 |
| 1.3 Organização da Dissertação .....             | 18 |
| 2 TAC .....                                      | 19 |
| 2.1 O Jogo do Mercado.....                       | 20 |
| 2.1.1 Bens Oferecidos.....                       | 21 |
| 2.1.2 Leilões .....                              | 23 |
| 2.1.3 Função Utilidade .....                     | 27 |
| 2.2 Edições Anteriores .....                     | 29 |
| 2.2.1 Agente ATTac .....                         | 32 |
| 2.2.2 Agência LivingAgents .....                 | 35 |
| 2.2.3 Agente WhiteBear .....                     | 36 |
| 3 COMPONENTES E ARQUITETURA.....                 | 38 |
| 3.1 Estrutura da Oferta .....                    | 39 |
| 3.1.1 Bens e Serviços.....                       | 39 |
| 3.1.2 Protocolos de Compra e Venda.....          | 40 |
| 3.1.3 Evolução de Preços e Estoques.....         | 41 |
| 3.2 Características da Demanda .....             | 42 |
| 3.2.1 Clientela .....                            | 42 |
| 3.2.2 Mercado .....                              | 43 |
| 3.3 Agentes de Negociação .....                  | 44 |
| 3.4 A Agência.....                               | 45 |
| 3.4.1 Compras no Atacado, Vendas no Varejo ..... | 46 |
| 3.4.2 Multi-Agente .....                         | 47 |
| 3.4.3 Inteligência de Mercado.....               | 49 |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 4 A OFERTA .....                              | 57  |
| 5 A DEMANDA .....                             | 60  |
| 6 A AGÊNCIA.....                              | 64  |
| 6.1 Organização Multi-Agente .....            | 64  |
| 6.1.1 Sensor .....                            | 65  |
| 6.1.2 Segmentador de Demanda.....             | 66  |
| 6.1.3 Alocador .....                          | 67  |
| 6.1.4 Supervisor .....                        | 68  |
| 6.1.5 Ordenador .....                         | 68  |
| 6.1.6 Negociador .....                        | 70  |
| 6.2 Segmentação .....                         | 71  |
| 6.3 Modelo de Programação Inteira .....       | 71  |
| 6.3.1 Formulação de Programação Inteira ..... | 73  |
| 6.4 Ordens de Compra .....                    | 81  |
| 6.4.1 Bens Abundantes .....                   | 82  |
| 6.4.2 Bens Escassos Estratégicos .....        | 83  |
| 6.5 Estratégias de Negociação .....           | 83  |
| 6.5.1 Reativa .....                           | 84  |
| 6.5.2 Adaptativa .....                        | 85  |
| 6.6 Aprendizado .....                         | 85  |
| 6.6.1 Ambiente .....                          | 86  |
| 7 EXPERIMENTOS.....                           | 89  |
| 7.1 Ambiente Experimental.....                | 89  |
| 7.2 Experimentos e Resultados .....           | 91  |
| 7.2.1 Agência Básica .....                    | 91  |
| 7.2.2 Agência com o Solver .....              | 94  |
| 7.2.3 Agência Completa.....                   | 97  |
| 7.2.4 Agência na Média .....                  | 99  |
| 7.2.5 Agência Mediana .....                   | 102 |
| 7.3 Sumário .....                             | 104 |
| 8 CONCLUSÕES .....                            | 106 |
| 8.1 Principais Resultados .....               | 107 |
| 8.2 Trabalhos Futuros .....                   | 109 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 9 APÊNDICES .....            | 111 |
| Dados dos Experimentos ..... | 111 |
| 10 REFERÊNCIAS.....          | 118 |

## Lista de Figuras

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2-1: Ambiente onde opera o agente de viagem do TAC . | 21 |
| Figura 3-1: Ambiente em que o agente de negociação opera.   | 45 |
| Figura 3-2: Agência SIMPLES                                 | 48 |
| Figura 6-1: Viagem de ida antes da data desejada.           | 80 |
| Figura 6-2: Viagem de ida após a data desejada.             | 80 |
| Figura 6-3: Penalidade artificial se o cliente não viaja.   | 81 |
| Figura 6-4: Processo de aprendizado.                        | 86 |
| Figura 6-5: Ambiente de treinamento da agência SIMPLES.     | 87 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2-1: Exemplo de preferências dos clientes de uma instância do TAC'00.....                  | 28  |
| Tabela 2-2: Exemplo de um conjunto de bens adquiridos no TAC. ....                                | 29  |
| Tabela 2-3: Alocação Final dos bens entre os clientes. Utilidade total é de 9443. ....            | 29  |
| Tabela 2-4: Resultados da primeira edição do TAC. ....                                            | 31  |
| Tabela 2-5: Resultado da rodada final do TAC-01.....                                              | 31  |
| Tabela 2-6: Resultado da última edição do TAC.....                                                | 31  |
| Tabela 2-7: Tecnologia IA dos agentes do TAC.....                                                 | 32  |
| Tabela 3-1: Exemplo das frequências relativa e acumulada por quantidade. ....                     | 55  |
| Tabela 5-1: Possíveis datas para preferência de viagem. ....                                      | 60  |
| Tabela 5-2: Pontuação por número de noites. ....                                                  | 63  |
| Tabela 6-1: Exemplo de alocações.....                                                             | 72  |
| Tabela 6-2: Dados do problema .....                                                               | 74  |
| Tabela 6-3: Variáveis binárias. ....                                                              | 75  |
| Tabela 6-4: Dados disponíveis ao ambiente de aprendizado. ....                                    | 88  |
| Tabela 7-1: Primeira versão da agência SIMPLES contra 7 <i>DummyAgents</i> .....                  | 94  |
| Tabela 7-2: Agência SIMPLES com o Solver contra 7 <i>DummyAgents</i> .....                        | 96  |
| Tabela 7-3: Resumo da Agência Completa contra 7 <i>DummyAgents</i> .....                          | 98  |
| Tabela 7-4: Resumo da Agência na Média contra 7 <i>DummyAgents</i> . ....                         | 101 |
| Tabela 7-5: Resumo dos experimentos contra um <i>LivingAgentLike</i> e seis <i>Dummies</i> . .... | 102 |
| Tabela 7-6: Resumo da Agência Mediana contra 7 <i>DummyAgents</i> . ....                          | 103 |
| Tabela 7-7: Resultado dos Experimentos da Agência Mediana. ....                                   | 104 |
| Tabela 7-8: Resumo dos resultados dos experimentos da agência X <i>Dummies</i> . ....             | 104 |
| Tabela 7-9: Resumo dos resultados dos experimentos da agência X <i>LivingAgentLike</i> . ....     | 104 |
| Tabela 9-1: Dados dos experimentos realizados com a Agência Básica. ....                          | 111 |
| Tabela 9-2: Dados dos experimentos realizados com a Agência com o Solver.....                     | 112 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 9-3: Dados dos experimentos realizados com a Agência Completa.<br>.....                                          | 113 |
| Tabela 9-4: Dados dos experimentos da Agência na Média contra 7<br><i>Dummies</i> . ....                                | 114 |
| Tabela 9-5: Dados dos experimentos da Agência na Média contra um<br><i>LivingAgentLike</i> e seis <i>Dummies</i> . .... | 115 |
| Tabela 9-6: Dados dos experimentos da Agência Mediana contra 7<br><i>Dummies</i> . ....                                 | 116 |
| Tabela 9-7: Dados dos experimentos da Agência Mediana contra 1<br><i>LivingAgentLike</i> e 6 <i>Dummies</i> . ....      | 117 |