



**UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES  
MESTRADO EM REDE DE COMPUTADORES**

**LICIA ROCHA TOURINHO BARBOSA**

**UM SISTEMA MULTIAGENTE PARA MONITORAMENTO  
ATMOSFÉRICO**

Salvador  
2005

**LICIA ROCHA TOURINHO BARBOSA**

**UM SISTEMA MULTIAGENTE PARA MONITORAMENTO  
ATMOSFÉRICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em  
Redes de Computadores, Universidade Salvador –  
UNIFACS, como requisito parcial para obtenção do  
grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Loureiro da Costa

Salvador  
2005

A

*Dimas, meu amado esposo, pelo companheirismo.*

*Meus filhos Mirella, Marcela e Rafael, razão da minha luta.*

*Talita, minha adorada neta.*

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por me ter permitido alcançar a reta final deste trabalho, concedendo força para superar os obstáculos.

Ao Prof. Dr. Augusto Loureiro da Costa pela atenção e confiança depositada durante a orientação deste trabalho, mantendo sempre presente o espírito do verdadeiro mestre.

A BRASKEM, representada pelo integrante Eng. Zuane, por autorizar a pesquisa referente ao funcionamento do ARIES, usado no monitoramento atmosférico da unidade industrial de CPL.

A Jonas Pelegrino pelo apoio logístico necessário ao desenvolvimento deste trabalho.

A Arthur Penna, por fornecer as informações referentes ao funcionamento do equipamento ARIES.

Ao Eng. Waldemir Queiroz pelas críticas e sugestões durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao colegiado do curso, representado pelo Prof. Dr. Suruagy, pela extensão de prazo concedida em função dos problemas de saúde, durante o período da elaboração dos trabalhos.

A todos os meus amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste estudo, especialmente a Ivan.

Em especial agradeço a Dimas, meu amado esposo, a quem dedico este trabalho e a meus filhos, minha neta, meu genro, meus pais e irmãos, pelo decisivo apoio e estímulo, como também pela abdicção da minha atenção nas horas dispensadas à elaboração deste trabalho.

*"Há homens que lutam um dia e são bons.  
Há outros que lutam um ano e são melhores.  
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.  
Porém, há os que lutam toda a vida.  
Esses são os imprescindíveis"*  
*Bertolt Brecht*

## RESUMO

A conscientização da necessidade de preservação ambiental, aliada a normas e legislações cada vez mais exigentes, tem aumentado a demanda por serviços de controle do ar. A tecnologia moderna dispõe de monitores automáticos e contínuos que permitem disponibilizar dados de concentrações de poluentes atmosféricos, emanados durante o processo produtivo, em unidades de um complexo industrial. A atuação de um especialista é imprescindível para a seleção e otimização da política de monitoramento mais adequada, definindo a melhor sequência e frequência de análise, diante das alterações observadas durante o controle ambiental. Assim, este trabalho apresenta uma aplicação de um Sistema Multiagente para Monitoramento Atmosférico, onde agentes atuando sobre equipamentos que controlam a qualidade do ar, denominados ARIES (*Analyzer and Report for Industrial Environmental Status*), são capacitados para solicitar o estabelecimento de um processo de cooperação aos demais agentes da comunidade em situações de contingência. Baseada na distribuição geográfica dos pontos de amostragem, a sociedade de agentes é habilitada para definir a melhor estratégia, que ofereça cobertura à área de atuação do agente, na qual um evento tenha sido detectado. Isto se verifica devido aos esforços do agente se concentrarem na área de atuação onde ocorreu o evento, deixando as demais áreas sem controle, o que torna necessário um plano para solicitação de intervenção externa através de uma ação cooperativa. O agente implementado neste trabalho foi baseado na arquitetura de agentes autônomos concorrentes, utilizando uma biblioteca de classes orientada a objetos denominada Expert-Coop++. A interação social foi alcançada utilizando a linguagem Parla na comunicação dos agentes, para a especificação das mensagens trocadas, e o protocolo de interação CNP (*Contract Net Protocol*), na definição da estratégia de cooperação, responsável pela determinação da sequência das mensagens enviadas, para alcançar o estado da meta.

**Palavras-chave:** Agentes, Monitoramento Atmosférico, Sistemas Multiagentes.

## **ABSTRACT**

The demand for air monitoring services has been increasing due to the awareness of the necessity of environmental preservation, as well as more and more strict air standards. The air can be monitored continuously in an industrial plant by using automatic equipment. However, an expert technician must define the frequency and sequence of analysis in that equipment. In this work, a Multi-agent System capable of establishing a strategy of cooperation among all the community agents in contingency situations was developed, to an air monitoring system called ARIES (Analyzer and Report for Industrial Environment Status). Based on the geographic position of the sampling points, the society of agents defines the better strategy for covering an area in which an event had been detected. That leaves the other areas of the plant unattended during a period of time. In order to avoid that situation, an external intervention plan was necessary. The developed agent is based on the architecture of concurrent autonomous agents, using a class library oriented to objects known as Expert-Coop++. The social interaction is reached using the Parla language for the agents communication and the exchanged messages. The interaction protocol CNP (Contract Net Protocol) was used on the definition of the cooperation strategy necessary to achieve the goal.

**Key words:** Agents, Environmental Monitoring, Multi-Agents Systems

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos Agentes ARIES	21
Figura 2 - ARIES - Analyzer and Report for Industrial Environmental Status	25
Figura 3 - Sala do ARIES	26
Figura 4 - Instalação de Canal de Monitoramento	27
Figura 5 - Modelo do Agente Reativo	34
Figura 6 - Modelo do Agente Cognitivo	35
Figura 7 - Aplicação da Arquitetura BDI	43
Figura 8 - Informação e fluxo de controle na arquitetura em camadas	47
Figura 9 - TuringMachines: Arquitetura de Agentes em Camadas Horizontais	48
Figura 10 - INTERRAP - Arquitetura de Agente de Camada Vertical de Duas Passagens.	49
Figura 11 - Arquitetura do Agente Autônomo Concorrente	75
Figura 12- Fluxo de Informação do Agente Autônomo Concorrente	78
Figura 13 - Contingência a Norte na Planta-1	112
Figura 14 – Gráfico Comparativo entre Modo Convencional x Utilização de SMA	118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - ArquivoARIES: Arquivo de Simulação de Dados do Monitoramento	95
Quadro 2 - Resultado do Monitoramento: Mensagem Parla	96
Quadro 3 - Behavior_File: Comportamentos Reativos	96
Quadro 4 - Regra do Instintivo - Desativação de Canal	99
Quadro 5 - Regra do Instintivo - Mudança no Ambiente para Estado de Alerta	100
Quadro 6 - Regra do Instintivo - Mudança no Ambiente para Estado de Emergência	100
Quadro 7 - Regra do Instintivo - Mudança no Ambiente para Estado de Contingência	101
Quadro 8 - Regra do Instintivo - Seleção do Comportamento / Meta Local do Estado de Alerta	102
Quadro 9 - Regra do Instintivo - Seleção do Comportamento / Meta Local do Estado de Emergência	102
Quadro 10 - Regra do Instintivo - Seleção do Comportamento / Meta Local do Estado de Contingência	103
Quadro 11 - Regra do Instintivo – Controle sobre a Área de Contingência	103
Quadro 12 - Regra do Instintivo – Habilidades do Agente para Controlar Contingência	104
Quadro 13 - Regra do Cognitivo – Definição da Meta Local para Estado de Alerta	107
Quadro 14 - Regra do Cognitivo – Definição da Meta Local para Estado de Emergência	107
Quadro 15 - Regra do Cognitivo – Definição da Meta Local para Estado de Contingência	108

Quadro 16 - Regra do Cognitivo – Solicitação de Ação Cooperativa	109
Quadro 17 - Regra Social – Aceitação do Processo de Cooperação	110
Quadro 18 - Regra Social – Comunicação de Contemplação dentro do Processo de Cooperação	111
Quadro 19 - Regra Social – Recusa de Participação do Processo de Cooperação	112
Quadro 20 - Descrição das Ações Cooperativas dos Agentes	114
Quadro 21 - Descrição de Planos	115
Quadro 22 - Conjunto de Planos	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias da LCA	60
Tabela 2 - Primitivas de Comunicação da Linguagem Parla	63
Tabela 3 - Padrões de interação entre agentes	64
Tabela 4 - Mensagens Básicas do CNP	66
Tabela 5 - Mecanismo de Resposta Imediata	68
Tabela 6 - Processo de Cooperação do CNP	69
Tabela 7 - Distribuição Geográfica dos Pontos de Amostragem na Área de cobertura do Agente	91
Tabela 8 - Comportamentos dos Agentes x Meta Local	104
Tabela 9 - Planta 1 – Mensagens CNP round 31	113
Tabela 10 - Planta 1 – Mensagens CNP round 32	113
Tabela 11: Planta 1 – Mensagens CNP round 33	114
Tabela 12 - Dados de Simulação na Planta 1 no Modo Convencional	116
Tabela 13 - Dados de Simulação na Planta 1 com atuação do agente	117

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARIES	Analyzer and Report for Industrial Environmental Status
BDI	Belief / Desire / Intention
BRASKEM – UDN/CPL	BRASKEM – Unidade de Desenvolvimento de Negócios CPL
CBD	Coalizão Baseada em Dependência
CNP	Contract Net Protocol
Cool	Cooperation Language
CSD	Conhecimento Social Dinâmico
RDP	Resolução Distribuída de Problemas
IA	Inteligência Artificial
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
KA	Área de Conhecimento
KQML	Knowledge Query Manipulation Language
LCA	Linguagem para Comunicação de Agentes
ppm	Parte por milhão
PRS	Sistema de Raciocínio Procedural
SMA	Sistemas Multiagentes

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO</b>	<b>24</b>
2.1	Introdução	24
2.2	O ARIES	25
2.3	A Motivação do Estudo	28
<b>3</b>	<b>AGENTES</b>	<b>31</b>
3.1	Introdução	31
3.1.1	Agentes Reativos	34
3.1.2	Agentes Cognitivos	35
3.2	Arquiteturas de Agentes	36
3.2.1	Arquitetura Reativa	36
3.2.1.1	Arquitetura de Subsunção ( <i>Subsumption Architecture</i> )	37
3.2.2	Arquitetura Cognitiva ou Deliberativa	39
3.2.2.1	Arquitetura BDI ( <i>Belief-Desire-Intention</i> )	40
3.2.2.2	Arquitetura Baseada em Metas	44
3.2.2.3	Arquitetura Baseada em Lógica	45
3.2.3	Arquitetura Híbrida	46
3.2.3.1	Arquitetura em Camadas Horizontais	47
3.2.3.2	Arquitetura em Camadas Verticais	49
3.3	Conclusão	51
<b>4</b>	<b>SISTEMAS MULTIAGENTES</b>	<b>53</b>
4.1	Introdução	53
4.2	A Sociedade de Agentes	54
4.2.1	Sistemas Quadro-Negro (BlackBoard System)	55
4.2.3	Sistemas Multiagentes Federados (Federal System)	56
4.2.4	Sistemas Multiagentes Democráticos	57
4.2.5	Sistemas Multiagentes Abertos	57
4.3	Comunicação entre Agentes Cognitivos	58

4.3.1	Linguagem para Comunicação de Agentes (LCA)	59
4.3.1.1	KQML	61
4.3.1.2	Linguagem Parla	62
4.3.2	Protocolos de Interação	64
4.3.2.1	Contract Net Protocol (CNP)	65
4.3.2.2	Coalizão Baseada em Dependência (CBD)	69
4.3.2.3	Conhecimento Social Dinâmico (CSD)	70
4.4	Considerações	71
<b>5</b>	<b>Expert-Coop++ - UM AMBIENTE PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MULTIAGENTES</b>	<b>74</b>
5.1	Introdução	74
5.2	Agente Autônomo Concorrente	75
5.3	Linguagem para Comunicação de Agentes	79
5.4	Métodos para Representação do Conhecimento	80
5.4.1	Regras e Representação do Conhecimento	80
5.4.2	A Base de Fatos	81
5.4.3	O Motor de Inferência	81
5.5	O Mailbox	82
5.6	Implementação do Agente Cognitivo	82
5.6.1	Processo Interface	83
5.6.2	Processo Coordenador	83
5.6.3	Processo Expert	84
5.7	Conclusão	85
<b>6</b>	<b>SISTEMA MULTIAGENTE PARA MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO</b>	<b>86</b>
6.1	Introdução	86
6.2	O Problema Proposto	88
6.3	Arquitetura do Agente para Monitoramento do Ar	92
6.4	Processo Interface_ARIES	93
6.5	Processo Coordinator	97

6.6	Processo Expert	105
6.7	Resultados	115
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS</b>	<b>120</b>
7.1	Conclusão	120
7.2	Trabalhos Futuros	122
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>130</b>