

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

**Crériterios para Avaliação de
Coordenação Multiagente**

por

REJANE FROZZA

Tese submetida à avaliação,
como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor
em Ciência da Computação

Prof. Dr. Luis Otávio Campos Alvares
Orientador

Porto Alegre, abril de 2004.

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Frozza, Rejane

Crerios para Avaliao de Coordenao Multiagente/ por Rejane Frozza. Porto Alegre: PPGC, 2004.
136 f.: il.

Tese (doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de P3s-Graduao em Computao, Porto Alegre, BR-RS, 2004. Orientador: Luis Ot3vio Campos Alvares.

1. Intelig3ncia artificial. 2. Sistemas multiagentes. 3. Coordenao multiagente. 4. Avaliao: Coordenao multiagente. I. Alvares, Luis Ot3vio Campos. II. T3tulo.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Profa. Wrana Maria Panizzi

Pr3-Reitor de Ensino: Prof. Jos3 Carlos Ferraz Hennemann

Pr3-Reitora Adjunta de P3s-Graduao: Prof^a. Joc3lia Grazia

Diretor do Instituto de Inform3tica: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenador do PPGC: Prof. Carlos Alberto Heuser

Bibliotec3ria-Chefe do Instituto de Inform3tica: Beatriz Haro

*Aos meus pais, Luiz e Angelina,
e ao meu amor, Edson Eustáchio.*

Agradecimentos

Em especial, quero agradecer a meus amados pais, Luiz e Angelina, que me acompanharam e incentivaram nos momentos mais difíceis, importantes e alegres da minha vida. Eles demonstram sempre grande dedicação e amor, com palavras de carinho, apoio e estímulo.

A minha irmã Nilse e ao meu cunhado Jorge pelas conversas nos momentos de descontração e por serem tão alegres e companheiros. Ao meu tão querido sobrinho Giovanni que, com seu lindo sorriso, me inspira em todos os momentos.

Ao meu amor, Edson Eustáquio, quero agradecer pela ajuda e carinho constantes. Você se tornou uma pessoa muito especial e importante na minha vida. Obrigada por tudo.

Ao meu professor orientador, Luis Otávio Campos Alvares, minha enorme gratidão pela amizade, dedicação, disponibilidade, companheirismo e notória orientação. Suas experiências e sugestões foram imprescindíveis para o término deste trabalho.

Um agradecimento especial aos meus grandes amigos, Daniela Bagatini e Marcos Teixeira, pelo grande apoio, carinho e amizade demonstrados. Dani, obrigada pelas horas de conversa, desabafo, apoio, compartilhando medos, dúvidas, trabalho, mas também alegrias e etapas vencidas.

Irineu, a você o meu muito obrigada pelas horas de trabalho e dedicação durante o desenvolvimento do teu projeto de diplomação.

Aos meus queridos amigos, Raquel e Mauro Muniz, João Luis Tavares, Carine Webber e Marilene, o meu muito obrigada. Amigos que eu conquistei, que fizeram parte de um momento especial e diferente da minha vida e que se tornaram inesquecíveis.

O meu muito obrigada ao Yves Demazeau e à equipe MAGMA que me acolheram durante um ano no Laboratório Leibniz (Grenoble), pela ajuda e troca de idéias.

Quero agradecer aos professores que tive durante toda a minha formação e que foram os grandes responsáveis por eu continuar na área acadêmica. Em especial, aos professores Jaime Sichman e Rocha Costa que acompanham o meu trabalho desde o mestrado e cujas sugestões e contribuições foram muito importantes.

A todos funcionários do PPGC e, em especial, a Eliane Iranço, Astrogildo dos Santos, Ida Rossi, Beatriz Haro e Elisiane Ribeiro pela amizade, ajuda e incentivo.

A todos amigos que tenho, pois cada um participa de momentos especiais da minha vida. Citar o nome de todos tornaria esta seção extensa, mas tenho certeza que cada um sabe o grande carinho que sinto.

A Deus pela força que emite em nossos corações.

À UFRGS pela oportunidade de cursar uma pós-graduação de qualidade, à UNISC (Universidade de Santa Cruz do Sul) pelo apoio e incentivo e à CAPES pelo apoio financeiro durante o período de doutorado sanduíche.

Sumário

Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	9
Lista de Tabelas	9
Resumo	10
Abstract	11
1 Introdução	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 MOTIVAÇÕES DO TRABALHO	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.4 METODOLOGIA E CONTRIBUIÇÕES	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	16
2 Coordenação de Agentes	17
2.1 COORDENAÇÃO DE AÇÕES	17
2.2 CARACTERÍSTICAS DA COORDENAÇÃO DE AÇÕES	20
2.2.1 Características Temporais.....	21
2.2.2 Características Organizacionais.....	21
2.2.3 Características de Qualidade e de Eficácia.....	21
2.2.4 Características de Realização	22
2.2.5 Características de Generalização	22
2.3 IMPORTÂNCIA DA COORDENAÇÃO DE AÇÕES	22
2.4 PROBLEMAS DA COORDENAÇÃO DE AÇÕES	23
2.4.1 Com Quem Coordenar Ações.....	23
2.4.2 Dependências Entre Ações	23
2.4.3 Relações Entre Ações	24
2.4.4 Coordenação Ineficiente	25
2.5 CONSIDERAÇÕES	26
3 Mecanismos de Coordenação de Agentes	27
3.1 MECANISMOS DE COORDENAÇÃO	27
3.1.1 Coordenação por Sincronização	30
3.1.2 Coordenação por Planejamento	31
3.1.3 Coordenação Reativa.....	35
3.1.4 Coordenação por Regulamentação	36
3.2 MODELOS DE COORDENAÇÃO EM ALGUMAS APLICAÇÕES	37
3.2.1 Coordenação por Formação de Coalizão (União)	37
3.2.2 Coordenação <i>Look-Ahead</i> (Previsão)	38
3.2.3 Coordenação por Pontos Focais	39
3.2.4 Coordenação por Comunicação de Avaliação.....	40
3.2.5 Coordenação Utilizando Matriz de Ganhos	40

3.2.6 Coordenação Utilizando <i>GPGP</i>	41
3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS UTILIZADOS PARA COORDENAÇÃO	42
3.4 RELAÇÃO ENTRE OS MECANISMOS E OS MODELOS DE COORDENAÇÃO	47
3.5 RELAÇÃO MATEMÁTICA ENTRE OS MECANISMOS E OS MODELOS DE COORDENAÇÃO	48
3.6 CONSIDERAÇÕES	49
4 Avaliação de Coordenação Multiagente	50
4.1 AVALIAÇÃO	50
4.2 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO	51
4.3 ESTADO DA ARTE: AVALIAÇÃO EM COORDENAÇÃO MULTIAGENTE.....	52
4.3.1 Sinais de Avaliação de Coordenação com o Uso de Aprendizado.....	52
4.3.2 Coordenação no Processo de Tomada de Decisão	53
4.3.3 Dimensões da Coordenação de Agentes.....	54
4.3.4 Aprendizado para Selecionar um Mecanismo de Coordenação	55
4.3.5 Comentários Sobre os Trabalhos do Estado da Arte	56
4.4 PROBLEMÁTICA DO TEMA E PROPOSTA.....	56
4.5 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA COORDENAÇÃO MULTIAGENTE .	58
4.5.1 Análise do Problema: <i>Classificação</i>	59
4.5.2 <i>Avaliação a Posteriori</i> : Abordagem GQM (<i>Goal Question Metric</i>).....	66
4.5.2.1 <i>Critério 1: Taxa de Qualidade dos Resultados</i>	67
4.5.2.2 <i>Critério 2: Características da Tomada de Decisão pelos Agentes</i>	68
4.5.2.3 <i>Critério 3: Características de Flexibilidade do Modelo de Coordenação</i>	69
4.5.2.4 <i>Critério 4: Taxa de Sucesso na Resolução de Conflitos</i>	69
4.6 INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO NO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS	70
4.6.1 Modelo Cascata de Ciclo de Vida	70
4.6.2 Modelo Cascata com a Proposta de Avaliação.....	71
4.7 CONSIDERAÇÕES	72
5 Aplicação: Robocup	74
5.1 A INICIATIVA <i>ROBOCUP</i>.....	74
5.2 O TIME UFRGS	75
5.2.1 Arquitetura do Time UFRGS	76
5.3 <i>ROBOCUP</i> PARA EXPERIMENTAÇÃO EM COORDENAÇÃO	79
5.4 FORMAS DE COORDENAÇÃO UTILIZADAS EM TIMES DA <i>ROBOCUP</i>.....	79
5.4.1 Posicionamento Estratégico Baseado em Situação	81
5.4.2 Planejamento Distribuído com Observação Parcial	82
5.5 MODELOS DE COORDENAÇÃO NO TIME UFRGS.....	83
5.5.1 Especificação da Jogada	83
5.5.2 Modelos de Coordenação Desenvolvidos	86
5.6 ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	90
5.6.1 Características Envolvidas na Tomada de Decisão	90
5.6.2 Algoritmo do Modelo de Coordenação por Pontos Focais.....	91
5.6.3 Algoritmo do Modelo de Coordenação por Comunicação.....	93
5.6.4 Processo de Escolha do Esquema Tático por Comunicação	93
5.6.5 Protocolo de Comunicação	94
5.7 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	95
5.7.1 Resultados do Modelo por Pontos Focais	95

5.7.2 Resultados do Modelo por Comunicação.....	96
5.7.3 Comparações Gerais.....	97
5.8 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO A <i>POSTERIORI</i>.....	97
5.9 CONSIDERAÇÕES.....	100
6 Aplicação: Gerenciamento de Agendas Distribuídas.....	102
6.1 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO.....	102
6.2 MODELO DE COORDENAÇÃO DA APLICAÇÃO.....	103
6.3 ESPECIFICAÇÃO DA APLICAÇÃO.....	104
6.3.1 Componente Agente.....	104
6.3.2 Componente Interação.....	105
6.3.3 Componente Organização.....	106
6.3.4 Componente Ambiente.....	106
6.4 RESULTADOS DA <i>CLASSIFICAÇÃO</i>.....	106
6.5 EXPERIMENTOS.....	109
6.5.1 Primeira Simulação.....	109
6.5.2 Segunda Simulação.....	110
6.5.3 Terceira Simulação.....	113
6.6 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO A <i>POSTERIORI</i>.....	116
6.7 CONSIDERAÇÕES.....	118
7 Conclusão.....	119
Referências.....	123
Obras Consultadas.....	132

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 - Classificação de sistemas multiagentes.....	13
FIGURA 2.1 – Situação neutra entre os agentes.....	19
FIGURA 2.2 – Situação de cooperação entre os agentes.....	20
FIGURA 2.3 – Situação de competição entre os agentes.....	20
FIGURA 2.4 – Dependências de ações entre os carros.....	24
FIGURA 2.5 – Relações entre ações.....	25
FIGURA 3.1 – Modelos de interação social.....	29
FIGURA 3.2 - Planejamento centralizado para agentes múltiplos.....	32
FIGURA 3.3 - Coordenação centralizada para planos parciais.....	33
FIGURA 3.4 - Planejamento distribuído para planos parciais.....	34
FIGURA 3.5 – Modelos de coordenação utilizados em casos práticos.....	37
FIGURA 3.6 – Relação entre mecanismo e modelos de coordenação.....	48
FIGURA 4.1 – Critérios para avaliação de coordenação multiagente.....	58
FIGURA 4.2 – Situação: modelo de coordenação adaptado ao sistema existente.....	59
FIGURA 4.3 – Situação: agentes sendo projetados.....	60
FIGURA 4.4 – Níveis da abordagem GQM.....	67
FIGURA 4.5 – Modelo em cascata adaptado.....	71
FIGURA 4.6 – Modelo em cascata com as etapas de avaliação.....	72
FIGURA 5.1 – Monitor do <i>SoccerServer</i>	75
FIGURA 5.2 – Arquitetura do time UFRGS.....	77
FIGURA 5.3 – Jogada de ataque.....	84
FIGURA 5.4 – Esquema tático 1.....	85
FIGURA 5.5 – Esquema tático 2.....	86
FIGURA 5.6 – Fórmula de similaridade.....	93
FIGURA 5.7 – Caminhos cruzados.....	96
FIGURA 5.8 – Número de gols por esquema tático.....	97
FIGURA 6.1 – Interface da agenda.....	103
FIGURA 6.2 – Arquitetura genérica do agente PRS.....	105

Lista de Tabelas

TABELA 3.1 - Comparação entre modelos de coordenação	44
TABELA 4.1 – Escolha de um novo emprego.....	52
TABELA 4.2 – Comparação de estratégias de coordenação.....	54
TABELA 4.3 – Relação questões-características na <i>classificação</i>	63
TABELA 4.4 - Relação entre as questões e os modelos de coordenação na <i>classificação</i>	64
TABELA 5.1 – Histórico da <i>Robocup</i>	75
TABELA 5.2 – Características e seus valores.....	90
TABELA 5.3 – Valores das características para os esquemas táticos.....	91
TABELA 6.1 – Compromissos locais iniciais do agente Frozza	110
TABELA 6.2 – Compromissos locais modificados do agente Frozza.....	110
TABELA 6.3 – Compromissos iniciais dos agentes AgFro, AgBag, AgAlv e AgTav	111
TABELA 6.4 – Compromissos modificados dos agentes AgFro, AgBag, AgAlv e AgTav	112
TABELA 6.5 – Compromissos iniciais dos agentes AgAlv, AgTav, AgBag e AgFro	114
TABELA 6.6 – Compromissos modificados - AgAlv, AgTav, AgBag e AgFro.....	115

Resumo

A utilização da abordagem de agentes, nas mais diversas áreas de aplicações, mostra o interesse nas pesquisas sobre sistemas multiagentes. Este interesse surgiu da necessidade de aplicar novas técnicas e conceitos para a construção de sistemas e para auxiliar no seu desenvolvimento. Neste sentido, os agentes satisfazem às expectativas, não sendo apenas utilizados para a solução de problemas acadêmicos, mas também de sistemas reais.

Na ciência da computação, a inteligência artificial distribuída está profundamente relacionada com o problema de coordenação. O objetivo é projetar mecanismos de coordenação para grupos de agentes artificiais. Várias características envolvem a atuação de agentes em um ambiente multiagente, como os mecanismos de cooperação, coordenação, comunicação, organização, entre outros.

Este trabalho apresenta um estudo sobre coordenação multiagente, enfatizando a sua avaliação. O objetivo é apresentar uma proposta de avaliação, com um conjunto de critérios definidos para serem aplicados em modelos de coordenação. Inicialmente, é apresentado um estudo sobre coordenação de agentes. A seguir, são abordados vários modelos de coordenação encontrados na literatura da área. A parte principal do trabalho corresponde à definição de critérios para avaliação da coordenação, a serem utilizados em duas etapas: uma análise do problema, com vistas à escolha de um modelo de coordenação a ser empregado em uma determinada aplicação, e uma avaliação *a posteriori*, baseada nos critérios propostos para avaliar o comportamento de um sistema coordenado após o uso de um modelo de coordenação específico.

Para exemplificar a aplicação dos critérios, dois estudos de caso são apresentados e foram utilizados para os experimentos: um referente ao domínio da *Robocup*, utilizando o Time UFRGS e, outro, referente ao gerenciamento de agendas distribuídas.

Palavras-chave: Coordenação Multiagente, Mecanismos de Coordenação de Ações, Avaliação da Coordenação Multiagente, Critérios de Avaliação.

TITLE: “CRITERIA FOR EVALUATING MULTI-AGENT COORDINATION”

Abstract

The agents approach has been used in several different areas of application, which justifies the growing interest on research in multi-agents systems. That interest comes from the need of applying new techniques and concepts to build systems and to improve their development. Agents seem to be appropriate for that, not only in the solution of academic problems but also of real ones.

In computer science, distributed artificial intelligence is profoundly involved with the coordination problem, where the objective is to design coordination mechanisms for artificial agent groups. There are several characteristics of agents' acting in a multi-agent environment, such as cooperation, coordination, communication and organization mechanisms, among others.

This work presents a study on multi-agent coordination, focusing on the evaluation of multi-agent coordination mechanisms. The objective is to propose an approach to evaluation, with a set of defined criteria to be applied to coordination models. Initially, we present a study on agent coordination. Then, several coordination models found in the literature are discussed. The main part of this work corresponds to the definition of criteria for the evaluation of coordination to be used in two stages: a problem analysis stage, aiming at the choice of a coordination model to be employed in a certain application, and an *a posteriori* evaluation, based on criteria for the evaluation of a system's behavior after the use of a specific coordination model.

In order to exemplify the use of the criteria proposed here, two case studies are presented: one in the *Robocup* domain, using the UFRGS team, and another on the management of distributed agendas.

Keywords: Multi-Agent Coordination, Mechanisms of Actions Coordination, Multi-Agent Coordination Evaluation, Evaluation Criteria.

1 Introdução

Os Sistemas Multiagentes estão profundamente envolvidos com o problema de coordenação e buscam projetar mecanismos de coordenação para grupos de agentes artificiais. Desta forma, uma coordenação eficaz entre agentes, que operam em um ambiente multiagente, contribui para o aumento da qualidade das soluções atingidas e para uma melhora do desempenho na resolução de tarefas.

Diferentes pesquisadores da área mostram uma visão geral do entendimento sobre o conceito de coordenação de agentes, como Jennings [JEN 93b] [JEN 96], Huhns e Stephens [HUH 99], Ciancarini [CIA 2000], Ferber [FER 95], Malone [MAL 94], Durfee [DUR 2001], entre outros.

É um dos desafios da comunidade multiagente sempre acompanhar a evolução de sistemas envolvendo um grande número de agentes e operando em ambientes abertos, trabalhando sobre novas e satisfatórias soluções. Neste contexto, diversos estudos já foram realizados visando ao desenvolvimento de estratégias de coordenação, como por Lesser [LES 98], Decker [DEC 95a] e [DEC 95b], Kuwabara [KUW 95] e Nagendra [NAG 97].

Muitas pesquisas também apresentam propostas de diferentes mecanismos de coordenação. Algumas delas podem ser encontrados em Ossowski [OSS 99], Jennings [JEN 96] e Ferber [FER 95]. E outras têm sido desenvolvidas no sentido de propor soluções de coordenação para problemas específicos envolvendo diversos domínios, como em Sheory [SHE 97], Jong [JON 97], Noh [NOH 97], Liu [LIU 98], Fenster [FEN 98], Decker [DEC 98], Goldberg [GOL 99], Tambe [TAM 99], Liu [LIU 2000], Modi [MOD 2000], Reisig [REI 2001], Yunpeng [YUN 2001], Andrade [AND 2002], Callantine [CAL 2003] e Chalkiadokis [CHA 2003].

Uma outra questão interessante de estudo em coordenação refere-se à avaliação de sistemas coordenados – como avaliar se o mecanismo de coordenação adotado é o que melhor se adapta para a solução do problema em específico. Poucos trabalhos neste sentido foram desenvolvidos, podendo-se citar os de Jong [JON 99], Barber [BAH 2000], Durfee [DUR 2001] e Excelente-Toledo [EXC 2002].

1.1 Contextualização

Os Sistemas Multiagentes são um conjunto de agentes que interagem em um ambiente comum. Representam, atualmente, uma grande perspectiva para projetar e desenvolver ambientes e ferramentas computacionais mais sofisticadas e poderosas para atender o aumento da complexidade dos sistemas reais.

O interesse nesta área é motivado pelo crescimento da utilização da abordagem de agentes nos mais diversos campos de aplicações. Assim, as pesquisas em sistemas multiagentes incluem o estudo de conceitos, linguagens, arquiteturas, teorias e

ambientes, a fim de atingir as expectativas de melhor desempenho na solução de problemas.

Estes sistemas refletem uma inteligência coletiva (como em um time de futebol, uma sociedade ou um formigueiro). São agentes que juntos resolvem problemas complexos tendo ou não consciência do objetivo global.

Vários trabalhos já foram desenvolvidos nesta área, apresentando conceitos, aplicações, tendências, motivações. Entre aqueles que impulsionaram o crescimento da utilização de agentes, pode-se citar [DEM 90], [DEM 91a], [DEM 91b], [DEM 93], [DRO 91], [DRO 92], [DRO 93], [DUR 94], [LAB 93], [MAE 93] [STE 90] e [STE 91].

A capacidade de resolução de problemas por parte do agente e a sua arquitetura são fatores que identificam três significativas divisões de agentes em um ambiente multiagente, como ilustra a figura 1.1.

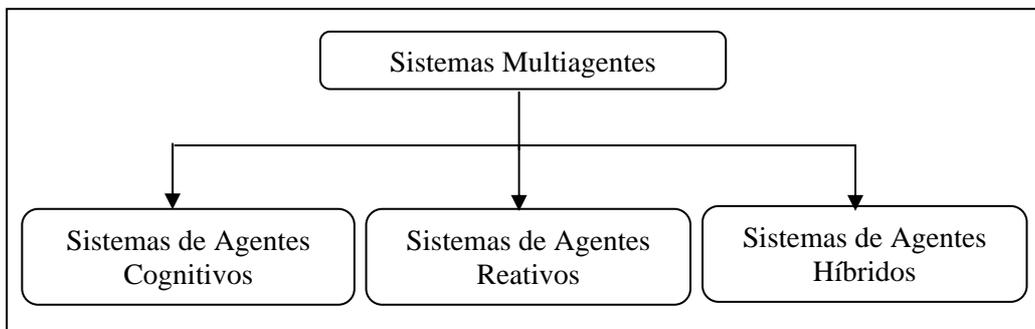


FIGURA 1.1 - Classificação de sistemas multiagentes

Um sistema multiagente pode ser constituído por agentes cognitivos, por agentes reativos ou por ambos, sendo, neste último caso, considerado um sistema híbrido, o qual é composto de agentes com características cognitivas e de outros agentes com características reativas, no qual o comportamento e as ações dos agentes cognitivos se diferenciam dos reativos.

A nível didático, a divisão de um sistema multiagente em sistemas de agentes cognitivos e reativos parece ser bem acentuada, mas, na prática, é possível o desenvolvimento de sistemas que utilizem características de agentes cognitivos e reativos em um mesmo ambiente. Um único agente pode, também, agir de maneira cognitiva ou reativa de acordo com as circunstâncias em que se encontra, sendo, neste caso, chamado de agente híbrido.

Os agentes cognitivos são inteligentes e agem de acordo com o seu conhecimento, porque dispõem de uma capacidade de raciocínio sobre uma base de conhecimento e aptidões para tratar de informações diversas. Tais informações estão ligadas ao domínio da aplicação e são relativas às interações entre os agentes e entre os agentes e seu ambiente.

Os agentes reativos são considerados entidades mais simples que os cognitivos, devido as suas características, principalmente de não apresentarem estados mentais (desejos, intenções, crenças e outros) e, portanto, não possuem capacidade de raciocínio e planeamento.

A atuação de agentes em um ambiente multiagente envolve, além dos agentes em si, de suas arquiteturas e comportamentos, questões relacionadas ao trabalho destes agentes em grupo. Algumas destas questões referem-se à percepção, planejamento, conflito, cooperação, colaboração, negociação e coordenação, que influenciam as ações e as decisões dos agentes na realização de seus objetivos.

O foco principal deste trabalho refere-se à coordenação das ações dos agentes que pode ser fator determinante para melhorar o desempenho destes agentes em aplicações.

1.2 Motivações do Trabalho

Vários problemas podem ocorrer em um sistema que não possua um mecanismo de coordenação adequado ou em que a coordenação é inexistente, como, por exemplo: conflitos de recursos e de acesso; redundância na realização das tarefas pelos agentes; aumento do tempo de espera quando a atividade de um agente depende da realização de atividades de outros agentes. Desta forma, a principal finalidade da coordenação é tentar evitar ou minimizar estes problemas.

A motivação para trabalhar com a coordenação das ações dos agentes em sistemas multiagentes deve-se a alguns fatores como:

- o uso de uma solução de coordenação adequada pode tornar o sistema mais robusto, no sentido que pode evitar problemas, como os citados anteriormente, que ocasionem um mau funcionamento do sistema;
- os agentes tornam-se mais interessantes porque possuem habilidades para realizar alguma forma de coordenação, como, por exemplo: tomada de decisão para elaboração de planos, reatividade, previsão de ações e comportamentos futuros, comunicação, interação por meio do ambiente de atuação;
- a questão de avaliação de coordenação é um desafio, pela dificuldade em saber o que é importante e válido avaliar, em como definir critérios para realizar a avaliação e em como mostrar os resultados.

Portanto, a partir destes pontos, decidiu-se focalizar o trabalho na avaliação da coordenação multiagente e fornecer uma proposta de avaliação, a partir de um conjunto de critérios, que poderão auxiliar os projetistas/desenvolvedores de sistemas multiagentes na questão relacionada à coordenação de agentes.

1.3 Objetivos

Pesquisas têm sido realizadas para mostrar o desenvolvimento de mecanismos de coordenação de agentes para sistemas multiagentes, a fim de produzir as melhores soluções possíveis a partir de recursos e de informações disponíveis.

Assim, este trabalho apresenta estudos feitos sobre as características dos mecanismos de coordenação existentes que envolvem a atuação de agentes em um ambiente multiagente, bem como alguns exemplos de aplicação que utilizam modelos de coordenação para a solução de problemas específicos.

O objetivo principal deste trabalho é propor e apresentar um esquema de avaliação de coordenação multiagente, que ressalte as características que possam auxiliar na decisão de qual modelo de coordenação utilizar para a aplicação em questão e, após, que avalie o comportamento de um sistema coordenado com o uso do modelo de coordenação escolhido. Esta avaliação é voltada para os projetistas/desenvolvedores de sistemas multiagentes, auxiliando-os em uma decisão mais segura sobre a questão da coordenação.

É importante ressaltar que monitorar e atualizar um modelo de coordenação pode melhorar a robustez da aplicação sem sacrificar a sua qualidade.

Pode-se ainda considerar três questões:

- Por que avaliar - pela importância das tomadas de decisões relativas à coordenação em aplicações;
- Para que avaliar - para auxiliar na escolha de modelos de coordenação adequados às aplicações e para analisar os resultados do modelo de coordenação utilizado na aplicação;
- Como avaliar - utilizando critérios de avaliação que apresentem resultados que possam ser indicativos para a melhora do comportamento da coordenação em uma aplicação.

1.4 Metodologia e Contribuições

A seguir, destacam-se os passos realizados no desenvolvimento deste trabalho:

- inicialmente, realizou-se o estudo da coordenação de agentes e de mecanismos de coordenação sob a visão de alguns diferentes pesquisadores da área;
- em seguida, foram selecionados trabalhos que envolviam modelos de coordenação e, a partir deles, levantou-se características que influenciavam ou eram influenciadas pela coordenação;
- uma comparação entre os diferentes modelos de coordenação empregados nos trabalhos foi feita, relacionando os modelos com os mecanismos de coordenação descritos na literatura;
- a partir disso, elaborou-se um conjunto de critérios para realizar a avaliação da coordenação multiagente em dois momentos – para uma análise de problema e escolha do modelo de coordenação, e para uma avaliação do modelo de coordenação utilizado;
- utilizou-se estes critérios em dois estudos de caso diferentes – o time UFRGS (domínio da *Robocup*) e o gerenciamento de agendas distribuídas.

O presente trabalho contribui com a definição de um conjunto de critérios de avaliação capaz de auxiliar a tarefa de avaliar a coordenação multiagente. Estes critérios de avaliação permitem que diferentes mecanismos de coordenação sejam avaliados, comparados e validados.

Outras contribuições do trabalho são:

- a apresentação de novas idéias para a realização da avaliação da coordenação, complementando os poucos trabalhos existentes;
- a disponibilização de critérios que possam auxiliar na escolha de um modelo de coordenação e/ou na avaliação de um modelo já desenvolvido para a aplicação;
- o desenvolvimento de modelos de coordenação para os jogadores de um time de futebol (Time UFRGS), usando o simulador *SoccerServer* da *Robocup*;
- a utilização dos critérios nos modelos de coordenação desenvolvidos no Time UFRGS, mostrando sua utilidade;
- a utilização dos critérios na aplicação de gerenciamento de agendas distribuídas de [SIL 2003].

1.5 Organização do Texto

Nesta seção, apresenta-se uma descrição da organização deste trabalho que destaca os pontos importantes de cada capítulo.

O capítulo 2 trata da coordenação de ações entre agentes. Apresenta exemplos de situações de coordenação, a importância da coordenação nas atividades dos agentes em um ambiente multiagente, o conjunto de características que podem ser verificadas em sistemas coordenados e os problemas causados pela necessidade de coordenação.

O capítulo 3 apresenta uma descrição de mecanismos de coordenação, sob a visão de alguns autores. Após, mostra o estudo realizado sobre modelos de coordenação utilizados em aplicações específicas e a definição do conjunto de características usadas para estabelecer uma comparação entre os diferentes modelos de coordenação. A seguir, apresenta a relação entre os mecanismos e os modelos de coordenação.

No capítulo 4, é apresentada uma proposta de avaliação para a coordenação multiagente. Inicialmente, aborda os conceitos de avaliação e de critérios de avaliação. Após, apresenta trabalhos relacionados à avaliação em coordenação multiagente e sua descrição. A seguir, apresenta o conjunto de critérios propostos para realizar a avaliação e a integração da etapa de avaliação da coordenação no ciclo de desenvolvimento de sistemas.

O capítulo 5 descreve a aplicação referente ao domínio da *Robocup*, com os modelos de coordenação desenvolvidos, e apresenta os resultados obtidos com o uso dos critérios de avaliação propostos sobre a aplicação.

O capítulo 6 descreve a aplicação referente ao gerenciamento de agendas distribuídas, apresentando os resultados obtidos com o uso dos critérios de avaliação propostos sobre a aplicação.

No capítulo 7, são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e as sugestões de trabalhos futuros.

2 Coordenação de Agentes

A coordenação de agentes envolve a seleção, a ordenação e a comunicação dos resultados das atividades dos agentes, quando trabalham em grupo. De modo geral, é aconselhável que a coordenação considere o caráter quantitativo das interações entre as atividades dos agentes, da demanda de recursos, das atividades futuras dos agentes e das informações simbólicas dos agentes como desejos, intenções e crenças [LES 98].

Uma coordenação eficaz entre agentes autônomos, que operam em um ambiente multiagente, contribui para o aumento da qualidade das soluções atingidas pelos agentes e para o aumento no desempenho da atuação dos agentes na resolução de tarefas.

A tendência no desenvolvimento de sistemas multiagentes é tornar o ambiente dos agentes dinâmico e aplicar mecanismos de coordenação efetivos, com o objetivo de produzir as melhores soluções possíveis a partir dos recursos e das informações disponíveis.

A coordenação pode ser estudada em uma variedade de áreas [OSS 95], como por exemplo em:

- *sociologia*: na qual os sociólogos querem explicar como um mecanismo de coordenação atua em uma sociedade de pessoas;
- *economia*: na qual os economistas estudam o processo de *marketing* como um mecanismo de coordenação;
- *teoria organizacional*: na qual os teóricos organizacionais tentam explicar o comportamento coordenado de uma organização e também prever comportamentos futuros.

Na ciência da computação, os sistemas multiagentes estão profundamente envolvidos com o problema de coordenação. O objetivo é projetar mecanismos de coordenação para grupos de agentes artificiais.

Assim, inicia-se, na seção seguinte, a abordagem da coordenação, seguindo-se com suas características e importância.

2.1 Coordenação de Ações

Coordenação é o ato de gerenciar dependências entre atividades [MAL 94]. Estas dependências podem aumentar, como consequência de atividades sendo executadas em um mesmo ambiente, e podem ocorrer naturalmente quando os agentes estão em um ambiente comum e compartilham recursos.

Como exemplo de uma situação de coordenação, pode-se citar o controle de tráfego aéreo: o controle de tráfego aéreo em um aeroclube pode ser quase inexistente, porque poucos aviões decolam/aterrissam; já, em um aeroporto, o controle de tráfego aéreo é uma atividade imprescindível para evitar a colisão de aviões, já que vários decolam/aterrissam em um pequeno espaço de tempo. Em tal situação, é importante a realização de um trabalho coordenado.

Outros exemplos de coordenação em atividades humanas são:

- *desfile de carnaval*: coordenação das alas (para que os passistas permaneçam em suas alas, para que uma ala não invada o espaço de outra); coordenação da bateria (uma espécie de sincronização dos instrumentos, coordenação dos passos com o toque dos instrumentos); coordenação dos passistas em geral. Neste exemplo, pode-se pensar em coordenação antes do início do desfile e coordenação dirigida por um grupo de pessoas (durante o desfile);
- *trânsito*: coordenação dos carros quando passam por cruzamentos; coordenação para a troca de pista e ultrapassagem (de modo a evitar colisões). Neste exemplo, pode-se pensar em coordenação efetuada por sinaleiras, sinais e regras de trânsito. Ou pensar em Leis Sociais, prevendo todas as ações potenciais dos agentes e impondo restrições que proíbam interações indesejáveis. Por exemplo, carros devem ser capazes de atingir suas destinações sem colisões;
- *músicos de uma orquestra*: coordenação entre os músicos para tocarem no momento certo; coordenação da harmonia do grupo. Neste exemplo, pode-se pensar que a coordenação ocorre pelas partituras e pelas indicações do maestro;
- *equipe de futebol*: coordenação dos jogadores quando efetuam as jogadas; coordenação dos passes. Neste exemplo, a coordenação pode ocorrer por meio de jogadas pré-definidas e por meio de decisões conforme percepção do instante – pela dinamicidade da situação.

O trabalho coordenado envolve características como [BAE 98]:

- *ajuste mútuo*: a coordenação é realizada por meio de um processo de comunicação informal. O controle do trabalho é de responsabilidade de quem o realiza;
- *supervisão direta*: é a maneira mais direta de manter uma coordenação. O supervisor é diretamente responsável pelo trabalho efetuado pelos outros agentes;
- *padronização*: é uma maneira indireta de atingir uma coordenação (de forma preestabelecida). Cada agente sabe o que pode esperar dos outros agentes, não se preocupando com a questão de coordenação.

Para Ferber [FER 95], a coordenação de ações é um método de cooperação (meio para se atingir a cooperação) e torna-se necessária por quatro razões principais:

- *os agentes necessitam informações e resultados que somente outros agentes podem fornecer*: por exemplo, um agente que constrói paredes precisará ser abastecido de tijolos; um agente que observa a atividade de um procedimento industrial precisará de informações sobre o estado deste procedimento em outros locais; uma agência de viagens necessitará serviços prestados por outros agentes, como de reservas aéreas e de hotéis;
- *os recursos necessários para a execução das atividades são limitados*: as ações, para serem executadas, precisam de recursos que nem sempre estão disponíveis. Desta forma, é preciso compartilhar os recursos de maneira a otimizar a execução das ações, com o objetivo de evitar conflitos eventuais (de acesso, colisões, ações contraditórias, entre outros);

- *os custos devem ser otimizados*: coordenar ações permite também a diminuição de custos, eliminando ações inúteis e evitando redundância de ações. Por exemplo, duas pessoas que tenham o mesmo destino, podem utilizar o mesmo carro e, assim, economizar um trajeto suplementar;
- *os objetivos dos agentes devem ser satisfeitos*: permitir aos agentes, que possuem objetivos distintos, mas dependentes uns dos outros, satisfazer estes objetivos, realizando seu trabalho.

Nesta última razão, pode-se citar como exemplo: dois agentes precisam utilizar recursos para executarem suas tarefas. Neste caso, três situações podem acontecer:

- (a) situação 1: se os objetivos dos agentes forem compatíveis e a utilização dos recursos disponíveis for totalmente independente, há uma *situação neutra* – os dois agentes terão a possibilidade de realizar as suas ações de maneira autônoma. A figura 2.1 ilustra a ocorrência de uma situação neutra. O agente 1 deseja imprimir um arquivo e possui alocado o recurso impressora, enquanto que o agente 2 deseja gravar um arquivo e possui alocado o recurso disquete. Ambos os agentes possuem os recursos necessários para realizarem suas tarefas de forma independente;

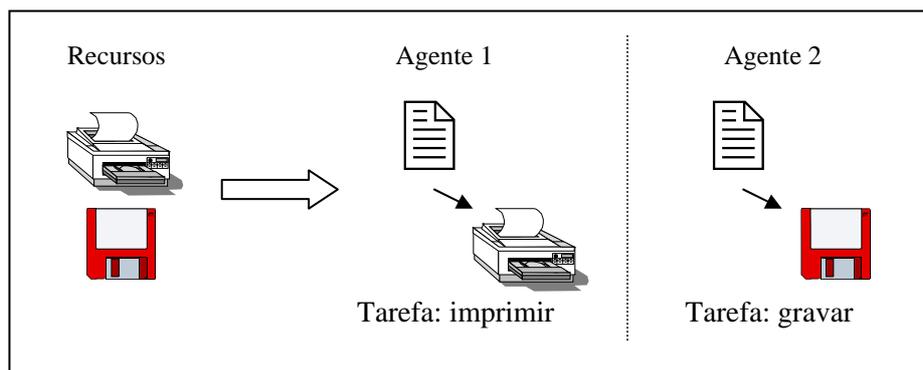


FIGURA 2.1 – Situação neutra entre os agentes

- (b) situação 2: se os objetivos dos agentes forem compatíveis e os recursos disponíveis estiverem alocados de maneira que as ações dos agentes devam ser recíprocas, há uma *situação de cooperação*. Esta situação necessita uma coordenação de ações. Neste caso, os agentes devem se ajudar mutuamente para que cada um satisfaça os seus objetivos. A figura 2.2 ilustra a ocorrência de uma situação de cooperação. O agente 1, para realizar o seu objetivo de imprimir um arquivo, precisa realizar uma troca de recursos com o agente 2. O agente 1 necessita do recurso impressora e o agente 2 necessita do recurso disquete. Desta forma, cada agente consegue satisfazer o seu objetivo;

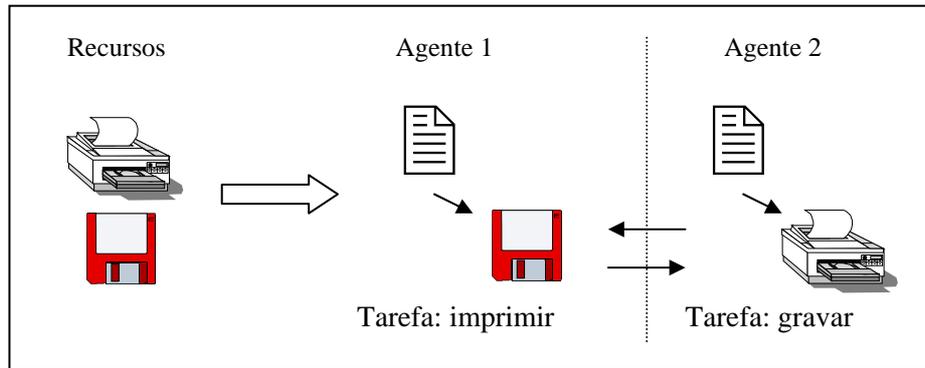


FIGURA 2.2 – Situação de cooperação entre os agentes

(c) situação 3: se os objetivos dos agentes forem incompatíveis (os objetivos de um agente estão em contradição com os dos outros agentes), há uma *situação de competição*. A figura 2.3 ilustra a ocorrência de uma situação de competição. Nesta situação, ambos os agentes querem realizar a tarefa de gravar um arquivo usando o disquete como recurso comum, o que gera um conflito para atingir o objetivo de cada agente.

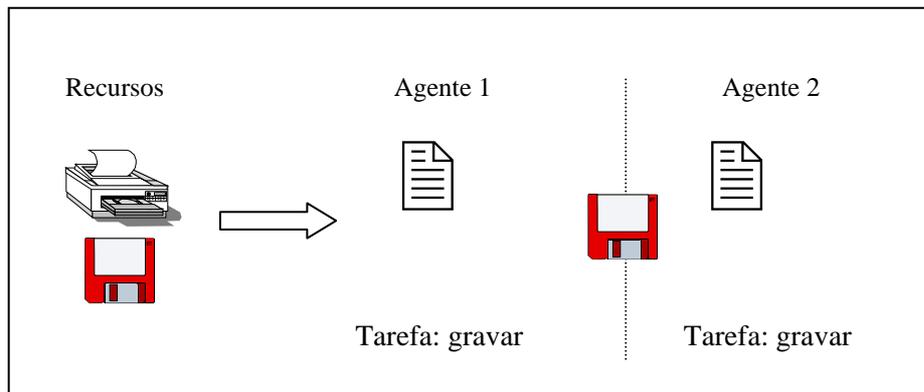


FIGURA 2.3 – Situação de competição entre os agentes

2.2 Características da Coordenação de Ações

Sistemas podem utilizar diferentes mecanismos de coordenação de ações e, segundo [FER 95], há cinco tipos de características que podem ser avaliadas em sistemas coordenados: temporais, organizacionais, de qualidade, de realização e de generalização.

A seguir, descreve-se cada uma das características.

2.2.1 Características Temporais

Estas características envolvem os conceitos de:

- *rapidez*: capacidade de um sistema agir prontamente a um evento (previsto ou imprevisto). O tempo de reação de um sistema pode depender de vários parâmetros, como a complexidade de cálculos, o número de agentes envolvidos, a quantidade de tarefas e outros;
- *adaptabilidade*: capacidade do sistema se adaptar a eventos ou a situações inesperados. Quanto mais um sistema for adaptável, mais poderá ser utilizado em contextos evolutivos;
- *preditividade*: sistema capaz de determinar, com um certo grau de precisão, o estado futuro do ambiente e dos agentes. Os sistemas preditivos são eficazes em contextos que dispõem de muitas informações sobre eventos futuros. Os sistemas pouco preditivos são interessantes em contextos que evoluem rapidamente ou que dispõem de poucas informações sobre previsões futuras.

2.2.2 Características Organizacionais

Estas características tratam da maneira como é organizada a coordenação de ações. Envolvem:

- *a estrutura organizacional das ações*: pode ser centralizada ou distribuída. As organizações centralizadas são de simples utilização e coerentes. As organizações distribuídas são mais facilmente adaptáveis a modificações não previstas no ambiente;
- *o modo de comunicação*: define a forma na qual os agentes tomam conhecimento das ações dos outros agentes. Se os agentes estão situados em um ambiente, eles podem perceber as ações dos outros;
- *o grau de liberdade de ação do agente*: caracteriza a independência do comportamento deste agente. Quanto mais liberdade o agente possuir para agir, mais adaptável ele será a novas situações.

2.2.3 Características de Qualidade e de Eficácia

Estas características representam as principais propriedades que se espera de um mecanismo de coordenação. Para se atingir a qualidade, pode-se responder às seguintes questões:

- os comportamentos executados pelos agentes são bons ou simplesmente corretos ?
- os recursos disponíveis são bem utilizados ?
- os mecanismos de coordenação utilizados melhoram o desempenho do sistema ?
- os mecanismos de coordenação utilizados possuem capacidade de evitar conflitos eventuais ?

2.2.4 Características de Realização

Estas características referem-se aos meios necessários para se obter um sistema de coordenação, que são:

- *quantidade de informações que os agentes devem manipular e trocar para coordenar suas ações*: estas trocas de informações podem ocorrer durante a elaboração de planos de ação ou no curso da execução das ações;
- *possuir informações sobre o ambiente e sobre os outros agentes*: quanto mais informações o agente possui sobre o ambiente e seus elementos, melhor será a previsão de evolução do sistema, que responderá de maneira adaptada às diferentes ações dos agentes;
- *diminuir as dificuldades*: existem mecanismos de coordenação de difícil utilização e implementação.

2.2.5 Características de Generalização

Estas características indicam o quanto um mecanismo de coordenação é geral, permitindo heterogeneidade de agentes ou se aplicando a diferentes domínios:

- *heterogeneidade* refere-se a agentes com diferentes capacidades de percepção, raciocínio e comunicação e que não dispõem dos mesmos mecanismos de coordenação;
- *generalidade* refere-se a quanto certos mecanismos são mais adaptáveis a certos domínios do que outros. Seria ideal utilizar mecanismos de coordenação que fossem adaptáveis a qualquer domínio, mas quanto mais geral um mecanismo, menos ele tende a ser eficaz.

2.3 Importância da Coordenação de Ações

A coordenação é um aspecto que influencia as atividades dos agentes que atuam em sistemas multiagentes. Tem sido abordada em diversas aplicações, pois, quando bem aplicada, contribui para uma execução eficiente das atividades pelos agentes. Deste modo, é um ponto importante a ser analisado em uma sociedade de agentes.

A coordenação das ações dos agentes também torna-se necessária em caso de interdependência entre as suas atividades [LES 98]. Isto acontece, por exemplo, quando os agentes precisam compartilhar recursos para a execução de suas atividades, quando o conjunto de atividades contribui para a solução de um problema maior ou quando existem várias escolhas disponíveis sobre como atingir um objetivo.

A utilidade da coordenação pode ser verificada em uma situação na qual um agente necessita dos resultados de um subproblema que um outro agente está solucionando. Por exemplo, se um agente produtor libera os resultados desejados em um pequeno espaço de tempo, para que o agente consumidor não tenha que ficar esperando por estes resultados, então o desempenho do sistema está melhorando. Neste caso, a decisão de realizar uma coordenação é simples, mas, supondo que o agente produtor tenha outras atividades a realizar para si próprio, além de produzir resultados para

outros agentes, o processo de decisão pode tornar-se complicado. O agente produtor pode possuir formas alternativas para realizar as suas atividades e negociar a qualidade da solução das atividades diante do tempo para completá-las. O mesmo acontece com o agente consumidor, que também pode ter flexibilidade sobre quando realizar suas atividades e ser capaz de negociar como realizá-las.

Desta forma, a coordenação também pode ser vista como um processo que é realizado após a tomada de decisão pelos agentes, se a decisão depender de outros agentes. A fim de coletivamente solucionar problemas, é necessária a utilização de um mecanismo de coordenação de ações entre agentes que seja eficiente e que aborde as características dos agentes e de suas atividades.

2.4 Problemas da Coordenação de Ações

A coordenação de ações em um ambiente multiagente envolve questões como:

- quais são os agentes com os quais um determinado agente deve coordenar suas ações;
- qual o momento de realização das ações a serem coordenadas;
- como detectar conflitos.

Estas questões referem-se, portanto, à maneira como efetuar a coordenação.

2.4.1 Com Quem Coordenar Ações

A primeira dificuldade encontrada na coordenação é determinar com quem um agente deve coordenar suas ações.

Por exemplo, no caso de controle de tráfego aéreo, a coordenação baseia-se na relação que os agentes têm com o espaço e na percepção de suas distâncias e velocidades relativas. Isto significa que um avião pode conhecer as ações de todos os aviões que estão muito próximos dele e com os quais ele tem risco de entrar em colisão; ou ter um agente controlador que conheça estas informações e, assim, determine a trajetória do avião em questão. É preciso perceber os aviões que se situam na vizinhança do avião em questão e estabelecer sua posição e sua velocidade com precisão.

A definição dos agentes com os quais um agente deve coordenar suas ações é fornecida pelo problema em questão. Por exemplo, duas pessoas que realizam uma mudança de casa devem sincronizar seus gestos para evitar que os móveis caiam.

2.4.2 Dependências Entre Ações

Perceber e determinar os agentes com os quais se deve coordenar ações não é suficiente; é preciso também gerar as interdependências que existem entre as ações de um conjunto de agentes. Por exemplo, supondo quatro carros C1, C2, C3 e C4 em uma estrada de pista dupla, como ilustra a figura 2.4. O carro C2 quer ultrapassar o carro C1, mas corre o risco de entrar em colisão com o carro C4. O carro C1 não pode desviar para sua direita, para que o carro C2 passe, porque corre o risco de colidir nas casas. Se

o carro C4 aumentar sua velocidade, corre o risco de colidir com o carro C3, se esse veículo continuar na mesma velocidade que estava.

De uma maneira geral, se existe uma ação a ser coordenada, toda a ação de um agente A_i depende das ações de todos os outros agentes $\{A_1, \dots, A_n\}$.

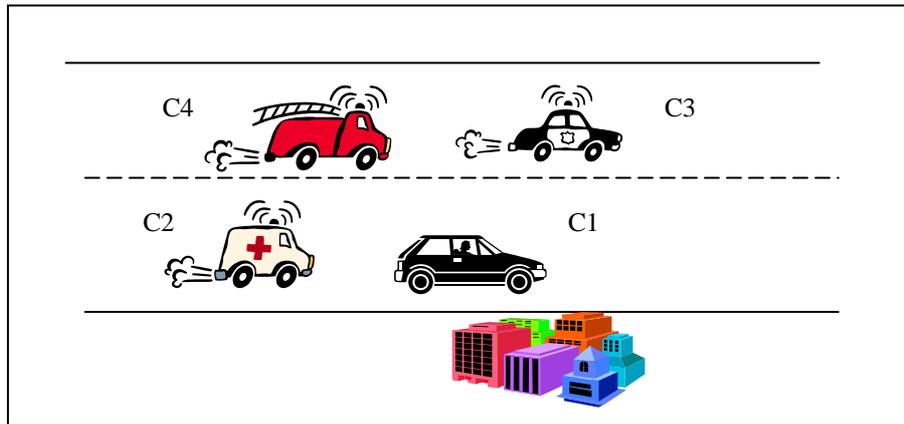


FIGURA 2.4 – Dependências de ações entre os carros

2.4.3 Relações Entre Ações

A execução simultânea de ações pode acarretar conflitos ou, ao contrário, pode conduzir a uma melhora de desempenho dos agentes.

F. Von Martial, em [MAR 92], classificou em duas categorias as relações que podem existir entre as ações, quando são realizadas por vários agentes simultaneamente:

- *relações negativas ou conflitantes*: são aquelas que impedem que várias ações sejam realizadas simultaneamente. Isto pode acontecer devido à incompatibilidade de objetivos e à limitação de recursos;
- *relações positivas ou sinérgicas*: favorecem as ações que forem realizadas de maneira independente, trazendo benefícios aos agentes.

Os tipos de relações entre ações podem ser visualizados na figura 2.5, segundo [FER 95].

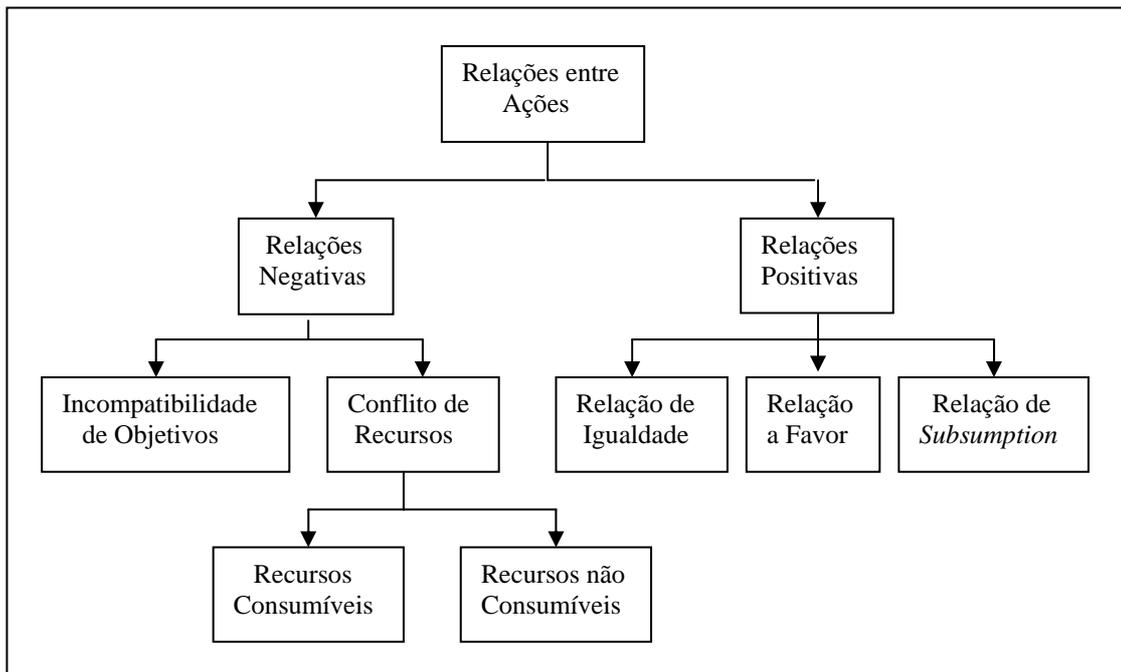


FIGURA 2.5 – Relações entre ações [FER 95]

Na *relação de igualdade*, as ações não estão relacionadas a um agente específico, portanto, podem ser executadas por um outro agente. A *relação de subsumption* indica que a ação “a” de um agente “A” faz parte das ações “b” de um agente “B” e, então, quando o agente “B” realiza as ações “b”, ele realiza também a ação “a”. A *relação a favor* indica que uma ação favorece a possibilidade de uma outra ação ser realizada.

2.4.4 Coordenação Ineficiente

Há sistemas onde ocorre uma coordenação inapropriada que resulta em respostas inferiores às desejadas ou não são obtidos resultados satisfatórios.

Pode-se citar algumas manifestações de coordenação ineficiente [LES 98]:

- agentes obtendo resultados já produzidos por outros agentes;
- transmissão de informações entre agentes que não contribuem para a linha de raciocínio do agente em questão;
- demora na geração de soluções corretas, devido aos recursos computacionais utilizados;
- execução de trabalho desnecessário.

Estes problemas de coordenação ineficiente podem ocorrer em agentes que possuem uma visão limitada do estado de solução do problema, agentes que se baseiam apenas nos resultados recebidos de outros agentes e não possuem conhecimento de como os outros agentes tratam os subproblemas.

O problema de coordenação em sistemas multiagentes é de crucial importância na inteligência artificial. Se os agentes falharem na coordenação, os resultados poderão

ser desastrosos. Por exemplo, dois agentes querem cruzar uma ponte que pode suportar apenas o peso de um. Se os dois agentes começarem a cruzar a ponte, ela pode cair. Neste caso, a coordenação requer que os agentes concordem em que um deles deva passar pela ponte antes do outro [BOU 99a].

2.5 Considerações

Foi possível observar, com os estudos realizados, que a coordenação já é algo implícito nas atividades humanas. E quando estas atividades são simuladas computacionalmente ou quando os sistemas devem fornecer resultados para serem aplicados em situações reais, o aspecto de coordenação influencia o processo dos agentes na busca dos objetivos.

Sem coordenação, os agentes podem, de forma não intencional, desperdiçar seus esforços e recursos e, assim, falhar na realização de seus objetivos.

Na literatura da área, existem várias definições diferentes de coordenação, que são relacionadas a sua utilização em um domínio específico. Considera-se, neste trabalho, a coordenação como a capacidade dos agentes organizarem suas ações (individuais ou coletivas) para serem executadas de maneira coerente no ambiente onde co-habitam, evitando problemas de conflitos, gerenciando os recursos disponíveis e explorando a sua capacidade de tomada de decisão. E, desta forma, chegar a resultados satisfatórios na realização de seus objetivos.

O próximo capítulo tratará dos mecanismos de coordenação. Neste trabalho, será utilizado o termo *mecanismo* para referenciar as diferentes formas de coordenação, em relação as suas características de funcionamento.

3 Mecanismos de Coordenação de Agentes

É importante salientar que a coordenação também envolve os problemas de ordenar as atividades e determinar como serão executadas por vários agentes. Desta forma, a importância de uma coordenação eficaz e a correspondente necessidade de criação de mecanismos de coordenação sofisticados aumenta em situações onde há interdependência entre as atividades dos agentes. Pode-se citar, como exemplo, agentes que trabalham sobre um mesmo problema e existem maneiras alternativas que podem ser usadas para gerar uma solução. Neste caso, a coordenação envolveria uma tomada de decisão em relação aos agentes trabalharem ou não de forma concorrente e à alocação de recursos necessários para a execução das alternativas.

É um dos desafios da comunidade multiagente sempre acompanhar a evolução de sistemas compreendendo um grande número de agentes e operando em ambientes abertos, trabalhando sobre novas e satisfatórias soluções. Neste contexto, diversos estudos já foram realizados visando ao desenvolvimento de sofisticados mecanismos de coordenação, como por [LES 98], [DEC 95a], [DEC 95b], [KUW 95] e [NAG 97], mas outros ainda se fazem necessários.

Quando se quer aplicar coordenação em um sistema de agentes, é necessário levar em consideração:

- quanto esforço deve ser despendido para que seja encontrada uma seqüência satisfatória de ações a ser executada;
- determinar o escopo das decisões: quais ações necessitam ser coordenadas e quais agentes devem executá-las;
- que mecanismo de coordenação deve ser utilizado.

A próxima seção abordará os principais mecanismos de coordenação estudados.

3.1 Mecanismos de Coordenação

Projetos de arquiteturas de sistemas multiagentes devem ser capazes de suportar formas de coordenação. Mas esta tarefa não é trivial e a dificuldade em criar um mecanismo de coordenação de agentes autônomos em um ambiente multiagente aparece no sentido de que as ações individuais devem ser realizadas por cada um dos agentes envolvidos, de maneira que o conjunto de agentes atinja uma situação final coerente e eficiente.

Vários trabalhos foram desenvolvidos, apresentando diferentes mecanismos de coordenação. Alguns deles podem ser encontrados em [OSS 99], [JEN 96] e [FER 95]. A seguir, será apresentada a visão de cada um destes autores.

Para Ossowski [OSS 99], um mecanismo de coordenação específico determina a dinâmica interna de um sistema multiagente (que são as interações entre os agentes) e as propriedades externas da sociedade. Identifica três tipos de mecanismos de coordenação:

- *organização*: organização em sistema multiagente é vista como um conjunto de relacionamentos estruturais entre as funções dos agentes na sociedade. Há muitas propostas de classificação de estruturas organizacionais, dependendo da forma como as ações são atribuídas aos agentes. Em geral, há algum conhecimento dentro de uma organização referente a tarefas e subtarefas. Ser responsável por uma tarefa composta significa gerenciar a coordenação de suas subtarefas, por meio de ordens dadas aos agentes que as estão realizando. Por exemplo, em uma organização do tipo hierárquica, há um agente gerente que controla e coordena a realização de cada tarefa; já, em uma organização do tipo lateral, não há agente gerente e as tarefas são realizadas de modo cooperativo;
- *planejamento multiagente*: mecanismo no qual agentes formam planos que especificam suas ações e interações futuras, em relação a um objetivo - todos os agentes envolvidos em um plano multiagente comprometem-se a comportar-se conforme o plano. Na abordagem tradicional de planejamento multiagente, os planos completos e detalhados são gerados para todos os agentes: ações e interações para serem realizadas durante o plano são especificadas antes que a execução comece. São considerados dois tipos de planejamento: centralizado (um único agente elabora o plano e distribui as atividades entre os demais agentes) e distribuído (vários agentes podem participar da elaboração de planos);
- *negociação*: mecanismo de coordenação baseado em um processo dinâmico de geração de acordos dentro de um grupo de agentes. A negociação é dependente do domínio, por exemplo, no domínio de automação de escritório, um coordenador negocia com outros agentes sobre a adaptação de seus planos; já, no caso de transporte de cargas, companhias negociam a troca de pedidos e seus preços.

Para Jennings [JEN 96] e [NWA 96], são quatro os mecanismos de coordenação:

- *organização*: a organização define implicitamente as responsabilidades, capacidades, conectividade e fluxo de controle dos agentes. Também define relacionamentos entre os agentes, onde os relacionamentos de controle, por exemplo, são responsáveis por designar a autoridade relativa dos agentes e os tipos de interação social que podem ocorrer;
- *contrato*: mecanismo de coordenação para alocação de recursos e de tarefas entre agentes, utilizando a abordagem de Redes de Contrato [SMI 88];
- *planejamento multiagente*: planos multiagentes são tipicamente construídos para evitar inconsistências ou conflitos de ações e interações. Os planos podem sofrer alterações durante sua execução. Também são considerados dois tipos de planejamento: centralizado e distribuído;
- *negociação*: a coordenação envolve alguma espécie de negociação, que é um processo no qual um grupo de agentes chega mutuamente a um acordo sobre alguma questão. Classifica a negociação em: negociação baseada na teoria dos jogos e negociação baseada em planos (agentes planejam suas atividades separadamente e, após, os planos de todos os agentes são coordenados por um agente coordenador).

A negociação baseada na Teoria dos Jogos, para [JEN 96], possui os seguintes elementos:

- *utilidade*: diferença entre o valor de atingir uma meta e o preço pago para atingi-la;

- *contrato*: é uma ação que um agente pode tomar a qual tem uma utilidade associada;
- *protocolo de negociação*: define as regras que governam a negociação.

O processo de negociação envolve um processo interativo de oferta e contra-oferta, onde cada agente escolhe um contrato que maximiza seu valor de utilidade esperado. Os valores de utilidade resultantes das interações são armazenados em uma matriz de ganhos (*payoff matrix*).

Sob outra perspectiva, a coordenação pode ser vista como uma ferramenta que os agentes usam para atingir os seus objetivos. É uma propriedade global de um sistema e que pode ser caracterizada em termos das propriedades dos componentes do sistema – os agentes individuais e as relações que existem entre os agentes e o seu ambiente.

Assim, os modelos de interação social, que caracterizam um fenômeno social, relacionam-se com a noção de coordenação. A figura 3.1 apresenta os modelos de interação social, segundo [SIC 95].

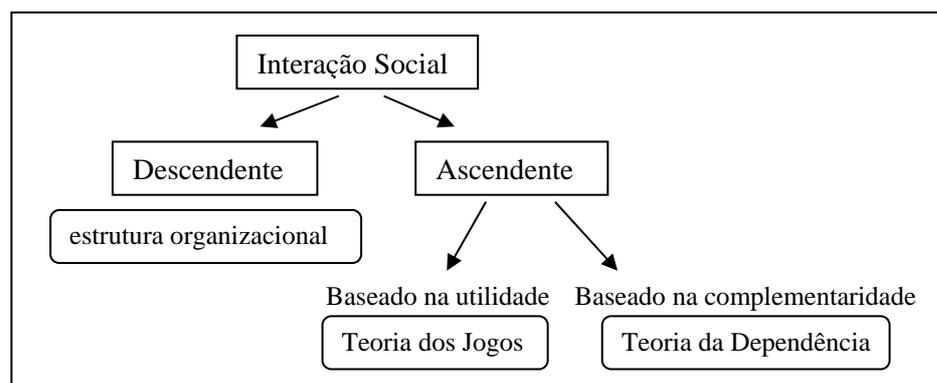


FIGURA 3.1 – Modelos de interação social [SIC 95]

Modelos descendentes consideram que os agentes possuem *a priori* um problema global para resolver e a cooperação é pré-estabelecida. Neste caso, as interações sociais são ligadas a uma estrutura organizacional.

Modelos baseados na utilidade e na complementaridade são subclasses dos modelos ascendentes de interação social, onde os agentes não possuem objetivos comuns *a priori* e as estruturas organizacionais, como a cooperação, não são pré-estabelecidas. A Teoria dos Jogos, [LUC 57] e [FUD 95], é um exemplo de modelo baseado na utilidade, onde o mundo social é considerado como um domínio de interferências entre agentes, que devem necessariamente se coordenar, criando convenções, a fim de terem um comportamento global coerente.

A Teoria dos Jogos se baseia nas teorias da utilidade e da decisão. A *Teoria da Utilidade* propõe um modelo para caracterizar as preferências de um agente entre os diversos estados possíveis do mundo. A *Teoria da Decisão* permite representar operações quantitativas sobre preferências e torna possível o cálculo das preferências quando a incerteza está presente. Neste contexto, um jogo é geralmente caracterizado por uma matriz, a qual representa os ganhos (utilidades) dos jogadores que escolhem as ações, representadas nas linhas e colunas da matriz. Um dos problemas clássicos tratados pela Teoria dos Jogos é o dilema do prisioneiro [AXE 80].

Utilizando-se a Teoria dos Jogos, é possível atingir coordenação entre um conjunto de agentes autônomos e racionais, sem um mecanismo de coordenação explícito construído nos agentes *a priori*.

Neste trabalho, adotou-se a classificação de Ferber [FER 95], que descreve quatro mecanismos de coordenação de ações: sincronização, planejamento, reatividade e regulamentação. Cada um desses mecanismos será descrito com mais detalhes nas próximas seções.

Esta escolha deve-se a alguns fatos, como:

- os mecanismos de coordenação apresentados por Ferber foram identificados nas aplicações descritas na seção 3.2 do capítulo 3;
- Ferber aborda a coordenação reativa como um mecanismo, que é uma forma muito encontrada na natureza e nas organizações humanas. Por exemplo, na natureza, pode-se observar uma coordenação reativa no vôo coordenado de um bando de pássaros para um mesmo destino (um pássaro é seguido pelos demais); ou em atividades humanas onde as ações são executadas rapidamente como uma reação (pessoas ajudarem alguém que desmaia repentinamente na rua). Os outros autores não comentam a respeito;
- avaliando-se a classificação apresentada por Jennings, encontrou-se algumas incoerências, pois considera-se que redes de contrato é um protocolo para processos de negociação, e negociação baseada em planos possui a mesma idéia de planejamento;
- Jennings e Ossowski colocam organização como uma forma de coordenação, mas considera-se que a forma de organização dos agentes em uma sociedade pode facilitar ou dificultar a coordenação, não que seja um mecanismo por si próprio. Por exemplo, se os agentes em um sistema estiverem em uma organização do tipo hierárquica, pode-se utilizar uma técnica que envolva a idéia de relação mestre/escravo.

3.1.1 Coordenação por Sincronização

Trata-se de uma forma elementar de coordenação. Toda coordenação deve descrever precisamente a seqüência de ações que terá necessidade de uma sincronização para a sua execução. A sincronização pode gerar uma simultaneidade de várias ações e verificar se os resultados das operações são coerentes.

Sincronizar várias ações é definir a maneira de encadear essas ações para que sejam realizadas no melhor momento (em relação ao tempo) [FER 95]. Se há o objetivo de assegurar uma certa coerência no sistema e impedir que o resultado das ações de uns agentes prejudique as dos outros, a sincronização também é relevante. A sincronização constitui o “baixo-nível” da coordenação de ações, onde são implementados os mecanismos de base que permitem às diferentes ações se articularem corretamente. Pode haver sincronização de movimentos e de acesso a um recurso:

- *sincronização de movimentos*: desde que vários elementos devem se mover em conjunto, é necessário sincronizar seu deslocamento. Por exemplo, quando a perna direita de um ciclista se apóia sobre o pedal direito, a perna esquerda relaxa, e vice-versa. A coordenação é, então, uma questão de ritmo e de posicionamento no tempo das ações em função dos eventos. Considerando-se cada uma das pernas do ciclista como um agente, é necessário, então, sincronizar o impulso de cada perna. Vários

mecanismos foram desenvolvidos para descrever e resolver problemas de sincronização, sendo um deles a Rede de Petri [MAC 96] e [REI 98];

- *sincronização de acesso a um recurso*: quando vários agentes precisam compartilhar um recurso (impressora, por exemplo), devem sincronizar suas ações e evitar conflitos.

3.1.2 Coordenação por Planejamento

É o mecanismo mais tradicional utilizado em inteligência artificial e baseia-se em duas fases: determinar o conjunto de ações a serem realizadas para atingir um objetivo, produzindo um conjunto de planos; escolher um dos planos gerados para ser executado. Os planos escolhidos podem ser revisados durante a sua execução. Em sistemas multiagentes, os diferentes planos elaborados pelos agentes podem ocasionar conflitos de objetivos ou de acesso a recursos. Portanto, os planos devem ser coordenados de forma a resolver estes conflitos e satisfazer os objetivos dos agentes. Um plano organiza uma coleção de ações que podem ser executadas sequencial ou concorrentemente.

3.1.2.1 Planejamento Multiagente

Planificar ações em um universo multiagente envolve três etapas distintas [FER 95]:

- a construção de planos;
- a sincronização/coordenação de planos;
- a execução dos planos.

Um sistema de planejamento é, então, composto por um conjunto de agentes que podem planificar, sincronizar ou executar planos. Um mesmo agente pode realizar uma ou várias dessas tarefas. O objetivo dos agentes em estabelecer planos é a execução de suas metas.

Os três modos de organização do planejamento multiagente são, segundo [FER 95]:

- planejamento centralizado para agentes múltiplos;
- coordenação centralizada para planos parciais;
- planejamento distribuído para planos parciais.

A seguir, descreve-se os modos de organização do planejamento multiagente.

(a) Planejamento centralizado para agentes múltiplos

Este planejamento supõe que exista um único planejador - um agente capaz de planificar e organizar as ações para o conjunto de agentes. A figura 3.2 apresenta um exemplo deste modo de organização. Um único agente (coordenador) é encarregado de produzir um plano global, cujas ações são repassadas aos agentes executores, e de solucionar possíveis conflitos.

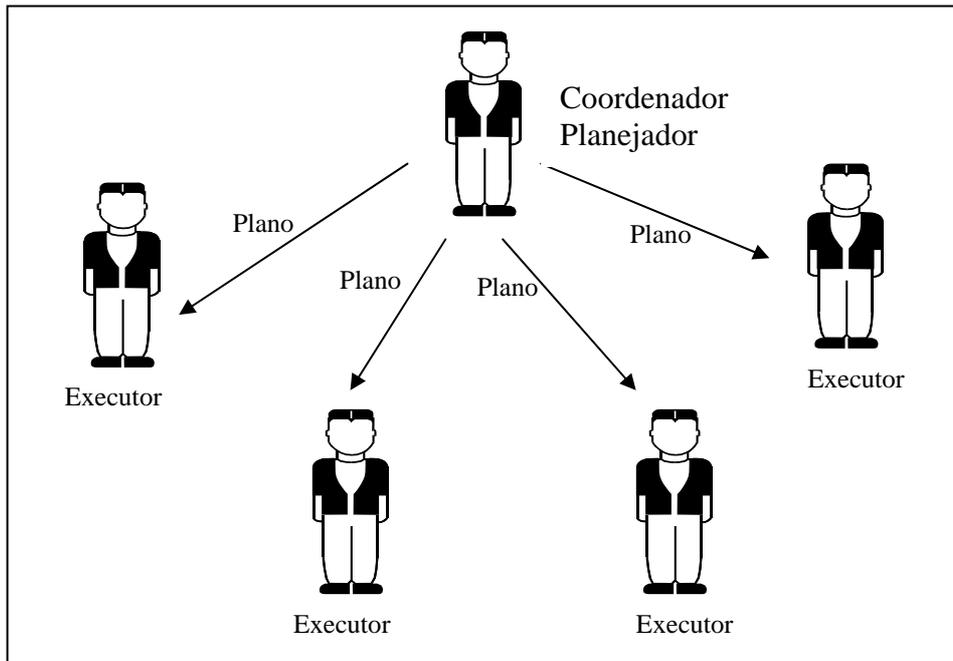


FIGURA 3.2 - Planejamento centralizado para agentes múltiplos [FER 95]

O problema da coordenação se resume, então, a uma simples combinação de sincronização e de alocação de tarefas. As atividades do agente coordenador são:

- construir um plano para realizar uma meta, baseado em seu conhecimento;
- distribuir os sub-planos para os executores e coordenar a execução destes planos;
- receber informações dos resultados da execução dos planos.

(b) Coordenação centralizada para planos parciais

Neste caso, cada agente constrói independentemente seu próprio plano parcial, que será enviado ao agente coordenador. O agente coordenador, então, sintetiza todos estes planos parciais em um único plano global coerente, suprimindo conflitos pela ordenação das ações ou pela determinação de pontos de sincronização necessários, como mostrado na figura 3.3.

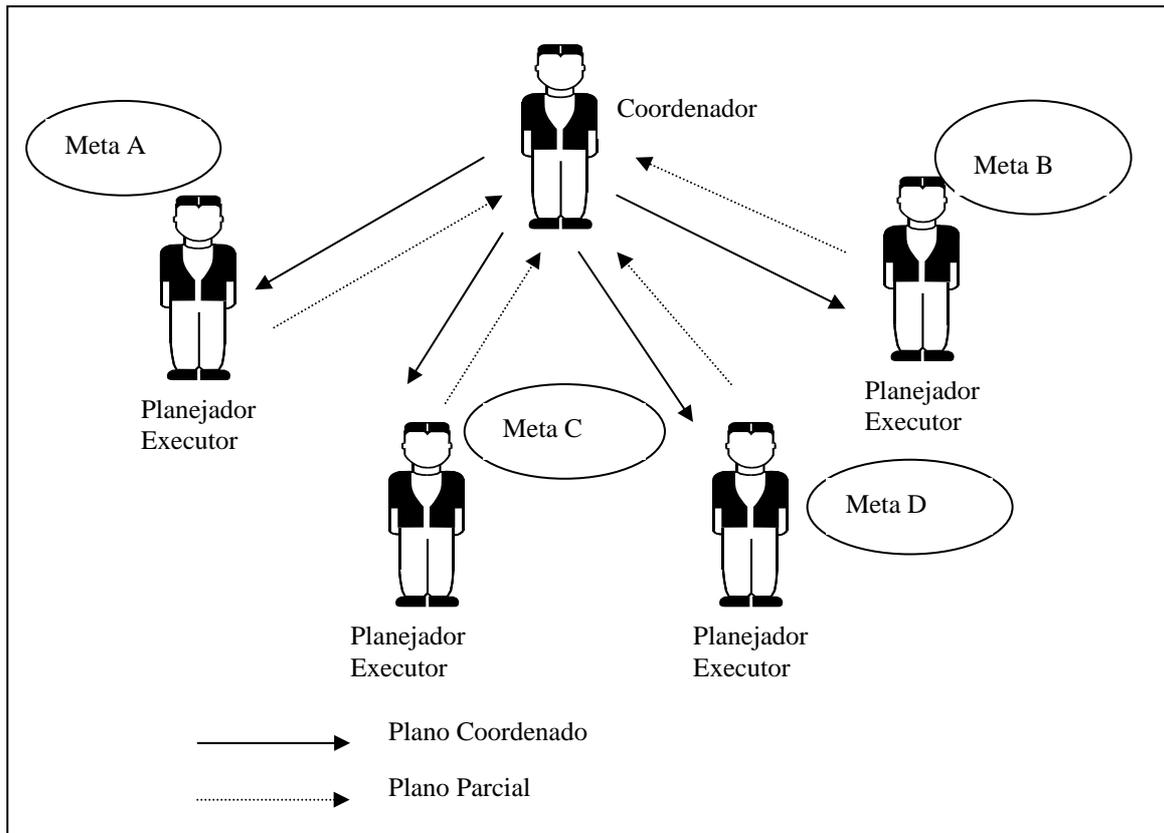


FIGURA 3.3 - Coordenação centralizada para planos parciais [FER 95]

(c) Planejamento distribuído para planos parciais

Agentes podem interagir para solucionar problemas de forma cooperativa em sistemas multiagentes. Estes agentes possuem habilidades para atingir metas complexas, formando uma organização ou um grupo.

Desta forma, cada agente planifica individualmente as ações que têm que realizar, em função de suas próprias metas. A dificuldade não está somente na resolução de conflitos que podem interferir na execução dos planos, mas também no reconhecimento das situações sinérgicas que podem ocorrer quando as ações de uns podem ser utilizadas para a realização das metas de outros.

Cada agente dispõe de metas e de planos parciais que podem ser comunicados a outros agentes e que permitem resolver suas metas. Não há um agente coordenador central. A figura 3.4 apresenta um exemplo deste planejamento.

O problema está em trocar informações sobre seus planos e metas, a fim de cada agente satisfazer seus objetivos.

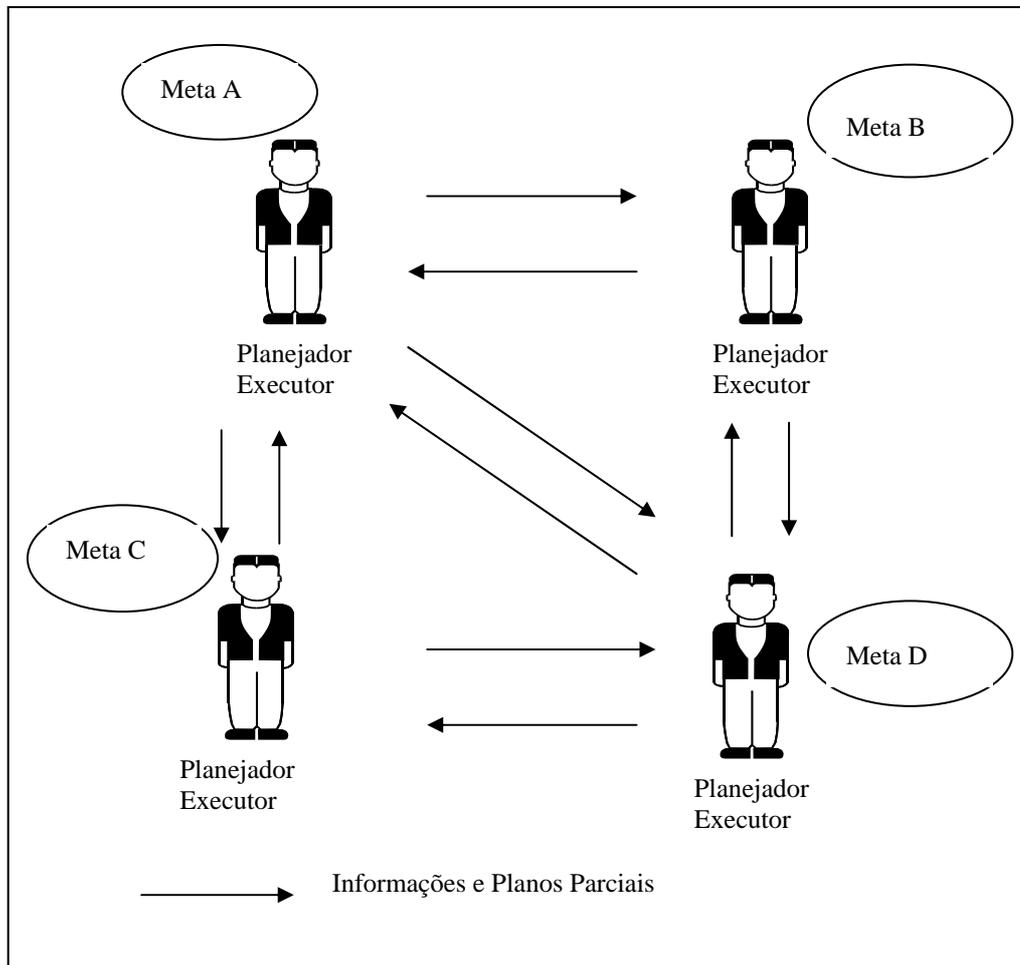


FIGURA 3.4 - Planejamento distribuído para planos parciais [FER 95]

Em planejamento multiagente, um agente, algumas vezes, necessita colaborar com outros agentes para construir planos complexos ou para realizar tarefas que ele não consegue executar sozinho. O protocolo Rede de Contrato [DAV 83] é um método utilizado para auxiliar os agentes na decomposição dinâmica de tarefas em sub-tarefas e alocá-las para outros agentes, utilizando um mecanismo de negociação.

A construção de um plano multiagente coordenado pode ser um trabalho complexo, devido aos agentes possuírem diferentes habilidades e crenças sobre o mundo. É apresentado em [OSA 92] um esquema para construção de planos para agentes colaborativos e um ambiente experimental para um sistema de planejamento multiagente.

As atividades de dois ou mais agentes podem ser vistas como uma ação composta, envolvendo:

- ações a serem feitas concorrentemente pelos agentes;
- ações a serem feitas seqüencialmente pelos agentes.

Nos dois casos, os agentes agem de maneira sincronizada para cooperar e evitar conflitos (planos coordenados). Nos planos executados de forma coordenada, os agentes

não contribuem necessariamente para a realização da mesma meta. Em atividades colaborativas, cada agente contribui para a realização das tarefas.

3.1.3 Coordenação Reativa

É um mecanismo de coordenação baseado em agentes reativos. De uma maneira geral, este mecanismo utiliza a relação percepção-ação de um agente e a capacidade dos agentes reativos de reagirem às modificações do ambiente. Considera que é mais simples agir diretamente, sem planejar o que deve ser feito.

Os agentes reativos não possuem representação deles mesmos, nem dos outros agentes, são geralmente desprovidos de mecanismos de raciocínio explícito e de controle cognitivo. As informações disponíveis, relativas a seus comportamentos e aos dos outros agentes, encontram-se no ambiente. Suas ações dependem unicamente da percepção que possuem do ambiente. O problema de determinar "qual agente faz o quê e quando" é baseado na utilização da coordenação reativa.

Assim, a ação de um agente reativo consiste, então, na reação deste agente a modificações que ocorrem em seu ambiente local e a adaptar suas ações às ações dos outros agentes.

A abordagem de coordenação reativa é utilizada na tese de [BAE 98] e duas técnicas que podem ser utilizadas são:

- *campos de potência*: estes campos definem os comportamentos de atração e de repulsão dos agentes. O objetivo é que os agentes realizem suas metas (deslocamentos). Neste tipo de coordenação, a percepção do ambiente consiste na posição e no estado dos outros agentes; a análise consiste em calcular uma função potencial a partir da percepção e definir a força que guia as ações escolhidas, que se traduzem para um deslocamento neste ambiente;
- *marcas para coordenar a ação de vários agentes*: estas marcas permitem utilizar o ambiente como um meio de comunicação flexível, robusto e simples. As marcas são colocadas e retiradas pelos agentes, e seu efeito pode desaparecer após passado um certo tempo no ambiente. Neste tipo de coordenação, a percepção se aplica à interpretação das marcas deixadas pelos agentes, a fim de escolher a ação a ser executada. A ação pode, então, ser um deslocamento do agente no ambiente, uma mudança de estado ou a colocação de uma nova marca.

Como exemplo de utilização do primeiro tipo de coordenação reativa, pode-se citar o modelo PACO [DEM 93]; e como exemplo de utilização do segundo tipo de coordenação reativa, pode-se citar o modelo da Funcionalidade Emergente [STE 90] e [DRO 93].

3.1.3.1 Modelo PACO

O modelo PACO (*Coordination Patterns*) propõe conceber a busca da solução de um problema como a co-evolução de um conjunto finito de agentes (cada um representando uma solução parcial), interagindo entre si e com o ambiente (os dados do problema). O comportamento do agente é caracterizado pela combinação, definida *a priori*, como um conjunto de interações elementares independentes. Cada tipo de

interação está associada à capacidade do agente perceber um tipo de agente no ambiente. O interesse do agente em interagir com outro agente (controle explícito dos campos de percepção e de comunicação do agente) aciona (se o campo de percepção do agente permitir) uma ação para o agente executar (seja uma interação com o ambiente, seja uma interação com os outros agentes). As interações são modeladas sob a forma de forças. Uma solução parcial é, então, atingida quando um agente se posiciona de maneira estável no ambiente. Uma solução para o problema global é encontrada quando um observador externo ao sistema perceber um equilíbrio de posição de todos os agentes da sociedade.

O mecanismo de coordenação do modelo PACO foi enriquecido pelo trabalho de Christof Baeijs [BAE 98], que introduziu conhecimentos organizacionais, com o objetivo de guiar o comportamento de um sistema multiagente em sua totalidade (convergência global), como o comportamento dos agentes reativos individualmente (convergência local).

Outro trabalho baseado no modelo PACO é o de Nils Ferrand [FER 98], que desenvolveu um formalismo para a abordagem de sistemas multiagentes reativos para a resolução de problemas espacializados.

3.1.3.2 Modelo da Funcionalidade Emergente

Este modelo exprime a passagem da ação a nível individual de cada agente reativo para uma ação coletiva. Esta ação coletiva é obtida pelo resultado das atividades dos agentes e das interações entre eles, evoluindo para um comportamento em grupo inteligente. Este modelo é exemplificado pelo problema dos robôs que têm a função de encontrar minerais em um ambiente desconhecido e carregá-los até uma base central. A auto-organização aparece quando os robôs estabelecem um caminho entre os depósitos de minerais e a base central. Isto indica uma forma de interação entre os agentes que têm como resultado uma estrutura espacial (o caminho). A funcionalidade emergente aparece no comportamento dos agentes de acidentalmente cruzarem o caminho já estabelecido e segui-lo para a coleta de minerais, diminuindo, assim, o seu tempo de busca. Os robôs que encontram o mineral deixam marcas que constituem um caminho de retorno e que facilitam a tarefa de busca dos robôs que ainda procuram pelos depósitos de minerais.

3.1.4 Coordenação por Regulamentação

Trata-se de um mecanismo posto em prática em sistemas que necessitam de uma coordenação limitada. Baseia-se em leis ou convenções sociais utilizadas para assegurar uma coordenação imediata. Sistemas com estas características são chamados de sistemas normativos. O princípio deste método é utilizar regras de comportamento que visam eliminar possíveis conflitos. Por exemplo, atribuir regras de prioridade a veículos em um cruzamento, com o objetivo de evitar uma colisão (conflito).

Os agentes possuem conhecimento sobre as leis utilizadas em um ambiente multiagente e podem escolher se as obedecem ou não conforme a situação. Desta forma, as leis podem influenciar o comportamento dos agentes.

Segundo [SHO 95], em um ambiente computacional, as leis sociais garantem o sucesso da coexistência de múltiplos agentes. Elas permitem um equilíbrio entre a liberdade dos agentes para atingirem seus objetivos e as restrições para que eles não interfiram demais uns nos outros. Shoham, em [SHO 92], define uma lei social como uma restrição no conjunto de ações disponíveis para os agentes.

Um exemplo de utilização deste mecanismo de coordenação pode ser encontrado em [SHO 95] no domínio de robôs móveis, que são capazes de executar vários tipos de tarefas, como moverem-se de um lugar para outro e agarrarem objetos. Como os robôs podem movimentar-se em um ambiente, cada um pode obedecer a uma convenção ou lei, o que evitará colisões, sem o uso de um coordenador central ou de um mecanismo de negociação.

3.2 Modelos de Coordenação em Algumas Aplicações

A seguir, serão apresentados alguns modelos de coordenação utilizados em aplicações específicas, ilustrados na figura 3.5. Um modelo de coordenação refere-se a uma instância de um ou mais mecanismos de coordenação. Estes modelos foram escolhidos por representarem trabalhos clássicos em coordenação, como, por exemplo, a Teoria dos Jogos Cooperativos (pontos focais) e o planejamento (*GPGP*).

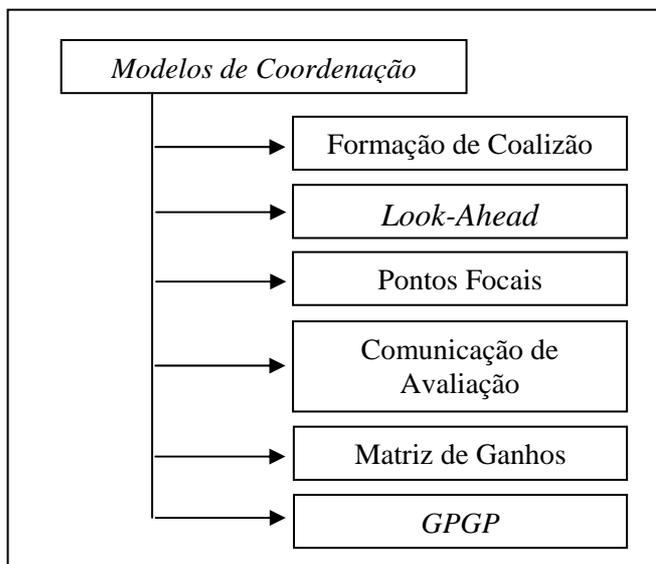


FIGURA 3.5 – Modelos de coordenação utilizados em casos práticos

Posteriormente, será apresentada uma comparação entre os modelos de coordenação encontrados nestes casos práticos e sua relação com os mecanismos de coordenação descritos na seção 3.1.

3.2.1 Coordenação por Formação de Coalizão (União)

A formação de coalizão, como modelo de coordenação de agentes, foi utilizada em [SHE 97]. A idéia é que mecanismos de formação de coalizão em sistemas

multiagentes aumentem o desempenho da execução de tarefas em grupo, atuando em ambiente reais.

Define-se coalizão como um grupo de agentes que decidem cooperar, a fim de executar uma tarefa comum. É possível aos agentes determinarem a importância de tarefas a serem executadas e de participarem de mais de uma coalizão. Os agentes, membros de uma coalizão, recebem uma recompensa quando satisfazem uma tarefa solicitada. A população de agentes não se altera durante a formação de coalizão.

Um modelo de formação de coalizão envolve:

- um conjunto de n agentes cooperativos e autônomos: $A=\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$;
- um conjunto de capacidades para cada agente: $C=\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$;
- um conjunto de tarefas: $T=\{T_1, T_2, \dots, T_k\}$. Para satisfazer cada tarefa, é necessário um conjunto de capacidades.

O algoritmo de formação de coalizão pode ser descrito, em linhas gerais, como:

- os agentes determinam as possíveis coalizões a partir do conjunto de agentes A ;
- para cada tarefa, considera-se todas as coalizões que podem satisfazê-la (em função das capacidades dos agentes);
- os agentes decidem qual coalizão será utilizada, em relação à tarefa específica, e executam a respectiva tarefa.

Um exemplo de sistema que usa o algoritmo de formação de coalizão é o RETSINA (*Reusable Task-Based System of Intelligent Networked Agents*) [DEC 97]. Neste sistema, os agentes estão distribuídos em diferentes máquinas, decidem como decompor tarefas e se elas devem ser repassadas a outros agentes, decidem que informações são necessárias para a tomada de decisão e quando cooperar com outros agentes. Os agentes comunicam-se com o objetivo de delegar tarefas; solicitar, fornecer, filtrar e integrar informações; negociar inconsistências. Possui três classes de agentes:

- *agentes de interface*: interagem com os usuários recebendo suas especificações e retornando resultados;
- *agentes de tarefa*: formulam planos para a realização das tarefas e os executam. Possuem conhecimento do domínio da tarefa e das capacidades dos outros agentes para executar partes da tarefa;
- *agentes de informação*: fornecem acesso a fontes de informação.

Os agentes podem ter capacidades para a execução de tarefas de forma local ou via formação de coalizão.

3.2.2 Coordenação *Look-Ahead* (Previsão)

A coordenação *look-ahead* é utilizada no trabalho de [LIU 98], no domínio de escalonamento e execução de tarefas em tempo real. O objetivo deste modelo de coordenação é aumentar a visibilidade global dos agentes e fornecer informações para tomada de decisões, já que os agentes necessitam coordenar suas ações constantemente, a fim de completar suas tarefas e melhorar o desempenho do sistema.

Neste tipo de domínio, considera-se a utilização de um modelo de tarefa, no qual as tarefas são divididas em mais do que duas sub-tarefas, existindo relacionamentos entre estas sub-tarefas, e que as mesmas são distribuídas entre os agentes. Uma tarefa é um conjunto de operações a serem executadas em ordem seqüencial por diferentes agentes. Os agentes devem coordenar-se para executar as tarefas e, assim, atingir uma solução global.

Neste modelo, os agentes possuem os seguintes comportamentos:

- adotam sugestões predeterminadas para ajustar suas ações e, assim, executar suas tarefas;
- consultam informações de outros agentes para tomar decisões sobre suas ações. A troca de informações é feita por meio de envio de mensagens;
- possuem o comportamento de *percepção-ação*.

Os estados possíveis dos agentes no ambiente são:

- o agente está executando uma operação;
- o agente recém terminou a execução de uma operação e há operações prontas para execução;
- o agente não está executando uma operação e há operações tornando-se prontas para execução;
- o agente não está executando uma operação e não há operações prontas para execução.

O escalonamento das operações é realizado pelos agentes por meio de um algoritmo simples baseado em regras de prioridade, que indicam as operações esperando para serem executadas. Cada tarefa é completada pela execução das operações pelos agentes.

O modelo de coordenação *look-ahead* desenvolvido foi o *Coordinated Forecasts* (COFCAST). Permite aos agentes incorporarem informação útil para tomada de decisão, baseada em condições futuras e globais. Um agente toma uma decisão em função de situações locais e de previsões de suas decisões futuras.

3.2.3 Coordenação por Pontos Focais

Neste modelo, a idéia é os agentes utilizarem uma coordenação baseada em interações humanas livre de comunicação, abordando os *Pontos Focais* como uma heurística para a coordenação em ambientes reais [FEN 98]. O objetivo é aplicar o modelo em diferentes domínios. A abordagem de pontos focais estudada e adotada nesta tese baseia-se nos trabalhos de Maier Fenster e Sarit Kraus.

Um exemplo de sucesso na aplicação deste modelo é na coordenação de escolhas comuns entre agentes em simulações (por exemplo, dois agentes escolherem o mesmo objeto em um ambiente sem comunicação).

Por que minimizar a utilização de comunicação ? Porque, além de ser custosa em termos computacionais, pode ser impossível de se estabelecer em certos ambientes

(devido a fatores específicos), pode ser interrompida por questões externas ao ambiente e pode não ser aconselhável em certas situações.

Pontos focais referem-se a soluções provenientes de uma interação. Por exemplo, se em um jogo é solicitado que duas pessoas dividam cem objetos idênticos em duas pilhas de tamanho arbitrário e, para ganhar o jogo, as pilhas de objetos das duas pessoas devem ter o mesmo tamanho, o que acontece é que a maioria das pessoas escolhe uma divisão igual a cinquenta objetos por pilha. A idéia, então, é adaptar o modelo de pontos focais do comportamento humano para os agentes artificiais.

Algoritmos de pontos focais são capazes de identificar, em um ambiente, objetos com propriedades diferentes dos demais e de fornecer formas de escolha destes objetos pelos agentes.

3.2.4 Coordenação por Comunicação de Avaliação

Os agentes possuem comportamento guiado por sinais de avaliação de coordenação [JON 97]. Um agente, com conhecimento de um certo domínio, direcionará os outros agentes, que são independentes deste domínio, por meio de sinais que refletem a avaliação da coordenação de suas próprias ações e das ações dos outros agentes. O objetivo é permitir que agentes independentes do domínio da aplicação comportem-se de maneira útil em um ambiente não-conhecido.

Agentes independentes do domínio referem-se a agentes que não possuem conhecimento do domínio. Os sinais de avaliação de coordenação são a abordagem utilizada para guiar os comportamentos/ações de um agente. A avaliação de coordenação é feita por uma função matemática.

A capacidade dos *agentes específicos da aplicação* de avaliarem o sistema guiarão as ações a serem executadas pelos outros agentes. Os sinais de coordenação que são trocados entre agentes podem ser vistos como uma metáfora aos sinais que os humanos usam para expressar suas idéias sobre situações ou ações das pessoas. Entretanto, estes sinais são implementados como números escalares e não têm comparação com a informação que pode ser lida de expressões faciais, gestos ou acenos. A quantidade de comunicação contida em uma comunicação não-verbal é pequena se comparada com o que pode ser expresso em algumas linhas de texto.

Os agentes específicos do domínio podem avaliar a situação corrente do ambiente e continuamente enviar sinais representando esta avaliação para os outros agentes (por exemplo, para seus agentes vizinhos). Os agentes que recebem estes sinais devem ser capazes de escolher as ações adequadas, em função desses sinais, mesmo atuando em ambientes não-conhecidos.

3.2.5 Coordenação Utilizando Matriz de Ganhos

Neste modelo, não há comunicação entre os agentes e utiliza-se o Método de Modelagem Recursivo. O trabalho de [NOH 97] apresenta este modelo de coordenação no domínio de defesa antiaérea, cuja missão é defender um território de ataques de mísseis.

A coordenação requer que um agente reconheça o estado corrente do ambiente e modele as ações dos outros agentes para decidir seu próprio comportamento (ação). Neste modelo, cada agente é independente para tomar decisões e executar suas ações, e a coordenação entre os agentes emerge como resultado das ações dos agentes individuais.

Com o propósito de coordenar a tomada de decisão em um ambiente multiagente, é utilizado o método de modelagem recursivo [GMY 95]. Este método permite a um agente modelar as ações dos outros agentes e estabelecer uma coordenação mesmo sem um protocolo de comunicação explícito.

A modelagem das ações é feita baseada em uma matriz de ganhos de ação (matriz de *payoff* – utilizada na teoria dos jogos) de cada agente. Cada dimensão da matriz corresponde a um agente, e as entradas da matriz representam as ações que podem ser tomadas por estes agentes. Esta modelagem é utilizada para suprir a ausência de comunicação entre os agentes que, desta forma, precisam prever as ações dos outros agentes antes de tomarem suas próprias decisões. No exemplo do domínio de defesa antiaérea, impediria que dois agentes tentassem interceptar o mesmo míssil. A previsão de um agente baseia-se no fato de que o outro escolherá a melhor ação dentre as possibilidades disponíveis.

3.2.6 Coordenação Utilizando GPGP

Os algoritmos de coordenação PGP (*Partial Global Planning*) e GPGP (*Generalized Partial Global Planning*) podem ser encontrados nos trabalhos de [DEC 98], [DEC 92] e [DUR 91].

O GPGP é um conjunto de mecanismos de coordenação, que atuam unidos a uma arquitetura de agente e a um escalonador de tarefas local, onde os agentes podem comunicar-se entre si e planejar suas ações.

Os mecanismos de coordenação do GPGP tratam a coordenação enquanto os agentes estão alocando (escalonando) no tempo as suas ações. Mas o problema de escolha e ordenação temporal das ações é complexo, porque o agente pode apenas ter uma visão incompleta do ambiente, no qual as ações são uma parte. O ambiente pode sofrer modificações dinamicamente, ocasionando incertezas aos agentes em relação aos resultados de suas ações.

Em relação à arquitetura do agente, ele possui um conjunto de crenças sobre as tarefas/ações a serem executadas e cada um possui um escalonador de tarefas local. Existem três tipos de ações possíveis:

- a execução de tarefas;
- o envio de mensagens diretamente a outros agentes;
- a coleta de informações.

A função dos mecanismos de coordenação é fornecer informação ao escalonador local do agente, para que realize seu trabalho de escalonar tarefas da melhor maneira. Estes mecanismos são independentes e podem ser usados em qualquer combinação. A seguir, descreve-se sucintamente cada um deles:

- *mecanismo 1*: responsável por atualizar os pontos de visão dos agentes, porque cada agente tem apenas uma visão parcial do estado corrente do ambiente;
- *mecanismo 2*: responsável por comunicar resultados de ações aos agentes. Assume a comunicação de três tipos de resultados: apenas os necessários para satisfazer os outros agentes; os necessários mais os finais referentes; todos os resultados;
- *mecanismo 3*: responsável por manipular redundâncias, que podem ocorrer quando sub-tarefas são complexas e envolvem muitos agentes. A idéia utilizada é que quando mais do que um agente quer executar a mesma tarefa, um destes agentes é escolhido randomicamente para executá-la e, após, os resultados são enviados para os demais agentes interessados;
- *mecanismo 4*: responsável por manipular relacionamentos de coordenação *pesados*, como relacionamentos que indicam que uma tarefa deve ser executada antes de outra;
- *mecanismo 5*: responsável por manipular relacionamentos de coordenação *leves*, que diferenciam dos relacionamentos do mecanismo 4 por iniciarem com alta negociabilidade.

3.3 Comparação Entre os Modelos Utilizados para Coordenação

Existem vários mecanismos e modelos de coordenação que podem ser utilizados em sistemas multiagentes, como visto em seções anteriores. Para estabelecer uma comparação entre os modelos de coordenação descritos em casos práticos, foram ressaltadas características de cada um, mostrando suas diferenças e similaridades. A tabela 3.1 apresenta o quadro de comparação, considerando as características predeterminadas.

Os modelos de coordenação apresentados na seção 3.2 foram escolhidos de forma subjetiva, a partir do levantamento feito de aplicações específicas que utilizavam diferentes modelos para resolver seus problemas de coordenação.

A seguir, lista-se as características, sugeridas a partir dos estudos realizados, que podem ser avaliadas em sistemas coordenados e que foram utilizadas na comparação:

- *preditividade*: capacidade de determinar o estado futuro do ambiente e dos agentes;
- *adaptabilidade*: capacidade de adaptar-se a eventos ou a situações inesperados; útil para aplicações em contextos evolutivos e para prover liberdade de ação do agente;
- *controle das ações*: centralizado (um único agente possui conhecimento sobre um determinado problema e atribui as tarefas aos outros agentes) ou distribuído (qualquer agente da sociedade pode estabelecer regras baseado em seu conhecimento);
- *comunicação*: maneira como os agentes tomam conhecimento das ações, dos outros agentes e do ambiente;
- *conflitos*: são evitados/abordados ou não pelo modelo de coordenação;
- *troca de informação*: informação manipulada e trocada entre os agentes para que se efetue a coordenação; útil, por exemplo, para aplicações que tratam da elaboração de

planos de ação e aplicações que utilizam marcas/pistas para trocar informação entre agentes;

- *agentes*: característica dos agentes envolvidos (homogêneos¹ ou heterogêneos²); capacidades dos agentes;
- *aplicações a que se destinam*: adaptáveis a qualquer domínio (característica que tende a ser menos eficaz) ou adaptáveis a certos domínios específicos;
- *vantagens* do modelo de coordenação utilizado;
- *desvantagens* do modelo de coordenação utilizado.

O grupo de características apresentado não é único e definitivo, mas mostra-se relevante para diferenciar os vários modelos de coordenação. Estas características foram sugeridas a partir do que os próprios modelos de coordenação estudados descreviam.

¹ Agentes Homogêneos possuem a mesma estrutura interna, incluindo objetivos, conhecimento, ações possíveis e o mesmo procedimento de seleção entre as ações. Possuem diferentes percepções do ambiente, gerando respostas diferentes, mas agem de forma similar para o mesmo conjunto de dados de entrada.

² Agentes Heterogêneos possuem diferentes objetivos, ações e domínio do conhecimento.

TABELA 3.1 - Comparação entre modelos de coordenação

Características	MODELOS DE COORDENAÇÃO					
	Formação de Coalizão	<i>Look-Ahead</i>	Pontos Focais	Comunicação de Avaliação	Matriz de Ganhos	GPGP
<i>Preditividade</i>	. não ocorre	. ocorre	. ocorre em relação à previsão da escolha feita por um agente	. não ocorre, os agentes avaliam a situação corrente	. ocorre em relação às ações dos agentes	. não ocorre
<i>Adaptabilidade</i>	. os agentes adaptam-se a tarefas que variam constantemente	. os agentes adaptam suas ações, baseados em previsões futuras	. os agentes adaptam-se ao ambiente onde estão, sem comunicação, para tomar uma decisão	. tentativa dos agentes, independentes do domínio, atuarem em ambientes não conhecidos	. os agentes adaptam suas ações, baseados em previsões futuras	. os agentes adaptam-se (suas ações) a modificações do ambiente (que pode ser dinâmico)
<i>Controle das ações</i>	. distribuído entre os agentes	. distribuído entre os agentes	. distribuído entre os agentes	. distribuído entre os agentes e centralizado (um grupo de agentes pode guiar as ações de outros agentes)	. distribuído entre os agentes	. distribuído entre os agentes e centralizado (um agente pode ser escolhido para executar uma ação)
<i>Comunicação</i>	. direta entre os agentes (envio de mensagens)	. direta entre os agentes (envio de mensagens)	. sem comunicação	. envio de sinais (valores escalares)	. sem comunicação	. pode ser variada, por exemplo <i>blackboard</i> e envio de mensagens
<i>Conflitos</i>	. possui estratégia para resolver conflitos	. possui estratégia de prioridade para o escalonamento	. não aborda estratégia específica	. não aborda estratégia específica	. não aborda estratégia específica	. aborda negociação e sincronização nas relações de coordenação

MODELOS DE COORDENAÇÃO						
Características	Formação de Coalizão	<i>Look-Ahead</i>	Pontos Focais	Comunicação de Avaliação	Matriz de Ganhos	GPGP
<i>Troca de Informação</i>	. trocam informações para elaboração de planos	. trocam informações para decidir suas ações	. não há trocas de informações	. trocam informações de avaliação do comportamento dos agentes	. não há trocas de informações	. trocam informações para realizar o escalonamento de tarefas
<i>Agentes</i>	. heterogêneos (de interface, de tarefa e de informação)	. fortemente acoplados ³ . homogêneos . tomam decisões	. homogêneos e heterogêneos	. heterogêneos (dependentes e independentes do domínio), se comunicam e avaliam situações do ambiente	. homogêneos . possuem capacidade de tomada de decisão	. homogêneos . possuem crenças e capacidade de planejar ações
<i>Aplicações</i>	. ambientes dinâmicos, com grande quantidade de informações	. problemas de escalonamento de tarefas e de tempo real	. diferentes aplicações, como problemas de escolhas comuns entre agentes (simulações)	. destinada a aplicações simples, com número limitado de possíveis ações	. sistemas de jogos e simulações	. diferentes aplicações, que envolvam escalonamento de tarefas
<i>Vantagens</i>	. tentativa de aumentar a eficiência de execução em tarefas de grupo . utiliza idéia de recompensa para agentes	. solução para coordenação em problemas de alocação de tarefas . agentes decidem ações em tempo real	. tenta modelar a naturalidade das soluções no mundo . minimiza custos de comunicação	. trabalha com um grupo de agentes que atuam de forma útil em diferentes domínios . permite a agentes, que não têm conhecimento do domínio como um todo, de escolherem suas ações	. tentativa de uma coordenação emergente . minimiza custos de comunicação . qualidade na tomada de decisão	. os mecanismos de coordenação podem ser usados de forma independente e em qualquer combinação

³ Os agentes são fortemente acoplados, porque há restrições de precedência entre as operações (que compõem uma tarefa) e cada agente pode executar apenas uma operação a cada vez.

MODELOS DE COORDENAÇÃO						
Características	Formação de Coalizão	<i>Look-Ahead</i>	Pontos Focais	Comunicação de Avaliação	Matriz de Ganhos	GPGP
<i>Desvantagens</i>	<ul style="list-style-type: none"> . o número de possíveis coalizões entre agentes cresce de forma exponencial, tendo que ser avaliado 	<ul style="list-style-type: none"> . tempo gasto para a previsão de ações . aborda apenas a execução de tarefas em ordem seqüencial 	<ul style="list-style-type: none"> . dificuldade dos agentes possuírem as capacidades para identificação dos pontos focais (convergência) 	<ul style="list-style-type: none"> . não explora a questão de aprendizado com os sinais de avaliação . perda da expressão das situações, reduzindo os sinais de avaliação a valores escalares 	<ul style="list-style-type: none"> . tempo gasto para a previsão de ações quando em ambientes de tempo real . cada aplicação possui seus atributos específicos, que serão levados em conta no processo de tomada de decisão 	<ul style="list-style-type: none"> . o tempo gasto para a escolha e a ordenação das ações (criação de planos) pode afetar o desempenho do sistema, em ambientes dinâmicos

3.4 Relação Entre os Mecanismos e os Modelos de Coordenação

O objetivo da montagem do quadro comparativo entre os modelos de coordenação estudados é ressaltar as características usadas em cada um para aplicações multiagentes. Em função das características e do objetivo da aplicação a ser desenvolvida, uma análise *a priori* de questões que envolvem a coordenação pode contribuir para um melhor desempenho dos agentes na resolução de suas tarefas.

Diferentes mecanismos de coordenação podem ser utilizados em sistemas multiagentes (seção 3.1). Cada sistema possui suas características específicas, em relação aos agentes, às ações, à comunicação e outras, que podem influenciar no desempenho do mecanismo de coordenação utilizado.

A seguir, apresenta-se a relação entre os mecanismos de coordenação estudados e os modelos utilizados para coordenação em casos práticos (seção 3.2). Além disso, outras características para realizar coordenação podem ser agregadas, complementando os mecanismos abordados:

- *formação de coalizão*: aborda coordenação por planejamento e coordenação por sincronização;
- *look-ahead*: aborda coordenação reativa (baseia-se no comportamento de ação-percepção) e coordenação por regulamentação (utiliza regras de prioridade para a seleção de atividades a serem executadas pelos agentes);
- *pontos focais*: aborda coordenação reativa, sem comunicação;
- *comunicação de avaliação*: aborda coordenação reativa (pelo envio de sinais de avaliação do comportamento dos agentes) e coordenação por sincronização;
- *matriz de ganhos*: aborda coordenação reativa, sem comunicação (baseia-se no comportamento de ação-percepção e no comportamento de coordenação emergente);
- *GPGP*: aborda coordenação por planejamento e coordenação por sincronização (possui um mecanismo para escalar tarefas).

Observa-se que os mecanismos de coordenação podem ser combinados ou associados a outros na resolução de problemas, com o objetivo de atingirem a eficiência na execução das ações de forma coordenada pelos agentes envolvidos.

Pelo quadro comparativo, pode-se analisar que:

- com a abordagem da coordenação sem comunicação, as escolhas das ações a serem executadas pelos agentes dependem, por exemplo, do conhecimento obtido por meio das funções das matrizes de ganhos dos outros agentes, do uso da abordagem de pontos focais, e do uso de regras de comportamento na coordenação reativa;
- com a abordagem da coordenação com comunicação, as informações trocadas entre os agentes são a base para que a coordenação ocorra de maneira eficiente;
- poucas formas de coordenação se preocupam em utilizar um mecanismo específico para a resolução de conflitos, que é um fator que pode ocorrer e influenciar negativamente a atuação dos agentes e a resolução das tarefas;
- os mecanismos e as abordagens de comunicação apresentados não referenciam a questão do aprendizado. O aprendizado é uma tendência que pode trazer benefícios

para a atuação coordenada dos agentes, principalmente em ambientes dinâmicos, onde o tempo para tomada de decisão de ações a serem executadas pode afetar o desempenho e os resultados do sistema.

3.5 Relação Matemática Entre os Mecanismos e os Modelos de Coordenação

Estabeleceu-se uma Relação entre o conjunto dos mecanismos de coordenação (Mc) e o conjunto dos modelos de coordenação (Mo), conforme figura 3.6, baseado nos estudos em [IEZ 85] e [MAC 88]. A figura 3.6 mostra os mecanismos de coordenação que são utilizados em cada modelo de coordenação. Por exemplo, a *sincronização* é utilizada nos modelos *formação de coalizão*, *comunicação de avaliação* e *GPGP*.

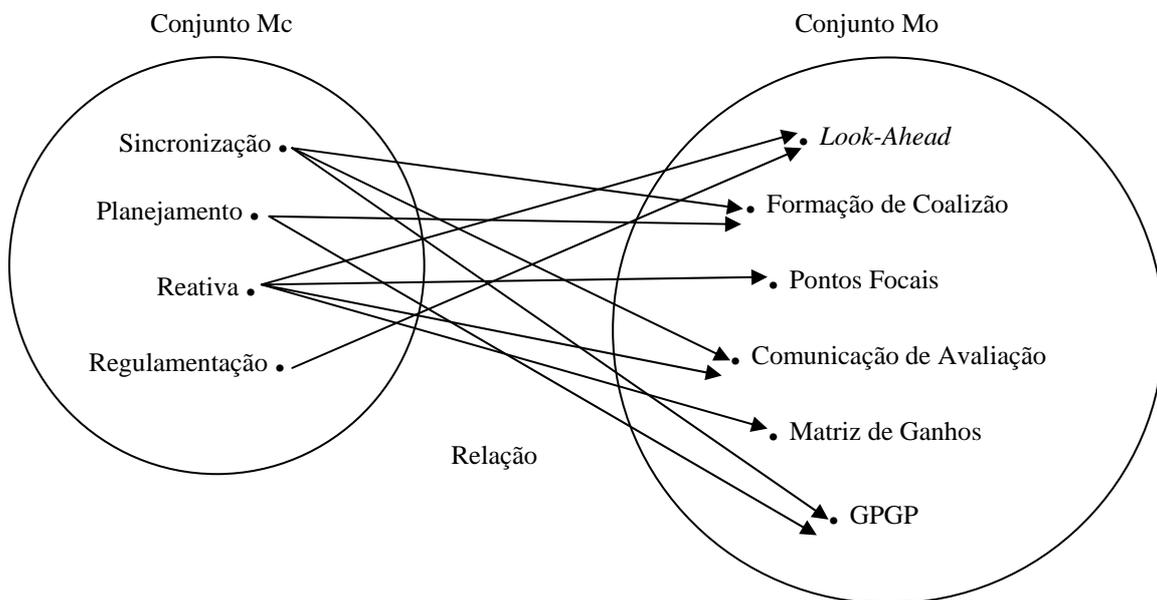


FIGURA 3.6 – Relação entre mecanismo e modelos de coordenação

R é a relação de Mc em Mo. É todo subconjunto do produto cartesiano de Mc por Mo:

$$R \subset Mc \times Mo$$

O produto cartesiano $Mc \times Mo$ é o conjunto cujos elementos são todos pares ordenados (x,y) , onde o primeiro elemento (x) pertence a Mc e o segundo elemento (y) pertence a Mo:

$$Mc \times Mo = \{ (x,y) \mid x \in Mc \text{ e } y \in Mo \}$$

Definição da relação:

A relação entre os mecanismos (conjunto Mc) e os modelos (conjunto Mo) de coordenação é o conjunto de pares ordenados (x,y) de $Mc \times Mo$ tal que x é usado em y :

$$R = \{ (x,y) \in Mc \times Mo \mid x \text{ é usado em } y \}$$

O critério de relacionamento dos elementos x com os elementos y é: “ x é usado em y ”.

A relação é igual ao conjunto de pares ordenados que satisfazem o critério “x é usado em y”:

$$R = \{ (s,f), (s,c), (s,g), (p,f), (p,g), (r,l), (r,c), (r,m), (r,o), (e,l) \}$$

Onde:

s = sincronização	f = formação de coalizão
p = planejamento	l = <i>look-ahead</i>
r = reativa	o = pontos focais
e = regulamentação	c = comunicação de avaliação
	m = matriz de ganhos
	g = gpgp

3.6 Considerações

Quando se pensa na aplicação da coordenação em um sistema de agentes, muitas dificuldades ainda aparecem, no sentido de especificar o que é necessário para que ela ocorra de maneira proveitosa. Isto envolve a decisão de que mecanismo de coordenação utilizar, em função dos agentes, do domínio e dos objetivos propostos; que agentes devem coordenar-se, considerando suas atividades; e a resolução de outras questões envolvidas como custo de troca de informações entre agentes e conflitos que podem surgir.

A seguir, apresenta-se algumas considerações acerca dos estudos realizados:

- a necessidade de coordenação de ações entre agentes aumenta na medida que aumenta a necessidade de compartilhar recursos e conhecimento para a realização das metas, e na medida que aumenta o desenvolvimento de sistemas mais complexos. Desta forma, o desenvolvimento de mecanismos de coordenação eficientes contribui para que a coordenação ocorra de forma mais adequada;
- a apresentação de casos práticos que utilizam modelos de coordenação mostra que cada aplicação resolve, de forma específica, seu problema de coordenação. A comparação realizada contribui no sentido de levantar características que podem auxiliar na análise e na escolha do modelo de coordenação a ser aplicado em diferentes sistemas multiagentes;
- a complexidade da coordenação pode não ser tão visível quando se pensa nela como algo isolado em um sistema. Mas deve-se levar em consideração que a coordenação pode estar relacionada com a cooperação e a colaboração entre os agentes, com a resolução de conflitos que podem ocorrer, com a troca de informações necessárias, entre outros aspectos.

O próximo capítulo apresentará uma proposta para avaliação de coordenação multiagente.

4 Avaliação de Coordenação Multiagente

Dada uma situação onde exista mais de um agente realizando uma ou mais tarefas, e esses agentes possuam a capacidade de agir de forma cooperativa para atingirem um determinado objetivo, a forma como é realizada a coordenação entre eles se torna um dos pontos-chaves para a adequada execução de tarefas. Essa forma de coordenação deverá ser escolhida considerando atender os requisitos que o ambiente impõe aos agentes e a situação que deverá ser enfrentada por eles.

Haverá casos, onde mais de um modelo de coordenação poderá ser adotado, devido às características do ambiente no qual os agentes estão inseridos, dos próprios agentes, do domínio em questão, entre outras. Nesses casos, uma boa alternativa para decidir o modelo de coordenação a ser utilizado é avaliar diferentes formas de coordenação em situações vividas pelos agentes.

Assim, este trabalho propõe critérios de avaliação para serem aplicados em modelos de coordenação, com o objetivo de ressaltar características que possam auxiliar na decisão de qual deles traria melhores resultados para o problema em questão. Monitorar e atualizar um modelo de coordenação pode melhorar a robustez da aplicação sem sacrificar a qualidade.

4.1 Avaliação

Avaliação é um processo de monitoramento que permite exercer um controle direto não só no desenvolvimento da solução do problema (considerado como *processo*), mas também que possibilita verificar o resultado final (considerado como *produto*) [CON 2002]. Para realizar uma avaliação, é necessária a definição de um conjunto de critérios.

Pode-se citar, de modo geral, dois tipos de avaliação, referenciados em [GOD 95a]:

- *avaliação qualitativa*: é o processo que responde à questão "O quanto bem nós fazemos?". O pesquisador não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico para a análise dos dados, uma vez que é uma avaliação de cunho exploratório, descritivo e subjetivo. Baseia-se em critérios qualitativos, que identificam características adequadas a um problema específico;
- *avaliação quantitativa*: é o processo que responde à questão "O quanto nós fazemos?". O pesquisador preocupa-se com a medição objetiva e a quantificação dos resultados, uma vez que é uma avaliação que se baseia em critérios quantitativos, que mostram resultados numéricos para comparação.

Tanto na abordagem qualitativa quanto quantitativa, a pesquisa se caracteriza como um esforço cuidadoso para a descoberta de novas informações ou relações e para a verificação e ampliação do conhecimento existente.

Os pesquisadores que seguem a abordagem qualitativa estão preocupados com o processo e não simplesmente com os resultados ou produto. O interesse está em verificar como determinado fenômeno se manifesta nas atividades, procedimentos e interações diárias. Como exemplos de pesquisas qualitativas, pode-se citar: análise da

conversação entre sujeitos em processos de interação [GOD 95a] e estudo de uma tribo indígena com pouco contato com a civilização [GOD 95b].

É possível avaliar organizações, instituições, políticas, estratégias, programas, projetos, produtos, serviços, sistemas, processos, propostas, entre outros. Para tudo isso, entretanto, há uma lógica e metodologia comum de avaliação [WHA 2002]:

- conduzir uma análise sistemática para determinar quais critérios distinguem a alta qualidade da baixa qualidade, dentro do contexto da avaliação;
- medir o desempenho;
- combinar as informações obtidas da avaliação para validar as conclusões.

As avaliações são realizadas com os seguintes objetivos:

- fornecer informação para auxiliar a tomada de decisão para a solução de um problema em particular. Por exemplo, um avaliador pode comparar operações e resultados de um programa em relação a um conjunto de padrões (critérios) e tomadores de decisão podem usar estas comparações para julgar o valor de um programa;
- ajudar a melhorar sistemas, por meio da utilização de técnicas mais adequadas em função das características do problema sendo solucionado;
- aprender sobre as razões de sucesso e de falha;
- verificar se o objeto de avaliação atende de forma confiável, acessível, segura e no tempo às necessidades da situação em questão [WER 96b].

O objetivo não é apenas alcançar um resultado positivo na solução do problema em questão, mas também saber se as ações propostas para chegar à solução foram as mais corretas e eficazes.

4.2 Critérios para Avaliação

A avaliação é elaborada a partir de critérios. Critérios são parâmetros, padrões, regras que servem como base para a avaliação [MAC 2002].

Um fato a ressaltar é a importância dos critérios para a tomada de decisão (neste caso, o modelo de coordenação a ser usado) em relação à aplicação em questão. Essa importância pode ser estabelecida pela associação de *pesos* aos critérios.

Para a análise dos resultados obtidos na comparação, seria interessante atribuir pesos que representam a importância dos critérios para a tomada de decisão. Além disso, é importante levar em conta a possível influência de um critério sobre algum outro.

A seguir, descreve-se um exemplo de uma tomada de decisão, em relação à escolha de um novo emprego, a partir de um conjunto de critérios.

O exemplo trata da escolha de um novo emprego, considerando três critérios [ROY 93].

Os critérios de quem procura o novo emprego são:

- *critério1*: porcentagem de noites que ele passará em casa;

- *critério 2*: nota (entre 0 e 10) que traduz o atrativo da cidade (onde ele trabalharia) em relação àquela onde ele desejaria morar;
- *critério 3*: variação relativa do salário anual em porcentagem.

São comparados quatro diferentes empregos com o uso destes critérios.

A tabela 4.1 mostra os resultados obtidos da comparação.

TABELA 4.1 – Escolha de um novo emprego [ROY 93]

	<i>Critério 1</i>	<i>Critério 2</i>	<i>Critério 3</i>
Emprego A	75%	10	0
Emprego B	100%	02	0
Emprego C	75%	10	40%
Emprego D	100%	02	40%

Por exemplo, se o candidato aos empregos julgar o critério 1 de maior importância para a sua decisão, ele escolherá o Emprego D. Por outro lado, se ele abrir mão de algumas noites em casa e der maior importância ao critério 2 para a sua decisão, ele escolherá o Emprego C. O candidato também pode buscar por um equilíbrio nos resultados, para não ganhar por um lado perdendo por outro, abrindo mão totalmente de um desejo (critério) por seu novo emprego. Isto mostra que a tomada de decisão pode ser influenciada pela importância atribuída a cada critério.

4.3 Estado da Arte: Avaliação em Coordenação Multiagente

Existem vários trabalhos envolvendo a questão de Coordenação, abordando diferentes formas de realizar a coordenação de agentes em um problema específico, como encontrado em [SHE 97], [LIU 98], [FEN 98], [JON 97], [NOH 97] e [DEC 98]; usando técnicas, como o aprendizado, para tentar melhorar a eficiência do processo de coordenação, como os trabalhos de [SEN 94], [JON 99], [TAM 99], [MOD 2000] e [CHA 2003]; aplicando em diferentes domínios, como a *RoboCup* [STO 2000b], [REI 2000], [REI 2001] e [YUN 2001], a música [AND 2002], o monitoramento de informação recuperada para futuras atualizações [LIU 2000], os robôs móveis [GOL 99], o controle de tráfego aéreo [CAL 2003], entre outros.

Por outro lado, tratando-se, especificamente, de avaliação em coordenação multiagente, ainda poucos trabalhos têm sido desenvolvidos, apesar da importância destacada pelos pesquisadores da área.

A seguir, descreve-se sucintamente os trabalhos encontrados e relacionados à avaliação de coordenação.

4.3.1 Sinais de Avaliação de Coordenação com o Uso de Aprendizado

O trabalho de [JON 99] usa como aplicação o problema da presa e do predador. Utiliza para a coordenação os Sinais de Avaliação de Coordenação, que se referem ao modelo de coordenação Comunicação de Avaliação, descrito em [JON 97].

O objetivo do trabalho é comparar o desempenho da solução deste tipo de coordenação com e sem o uso da técnica de aprendizado por reforço. A aplicação desenvolvida permite verificar se um agente pode usar sinais de coordenação para aprender a coordenar as suas ações em um ambiente desconhecido. O ambiente possui quatro agentes, sendo que um deles adapta seu comportamento baseado nos sinais de coordenação que ele recebe dos outros três agentes.

Na aplicação, existem dois tipos de agentes: os que possuem e os que não possuem conhecimento do ambiente. Os agentes que não possuem este conhecimento devem desenvolver um comportamento por meio de aprendizado com o uso dos sinais de coordenação. Os sinais de coordenação são enviados pelos agentes que possuem conhecimento do ambiente a seus agentes vizinhos. Estes sinais são valores entre zero e um ($[0..1]$) e a diferença entre dois valores subsequentes é usada para o aprendizado por reforço. O agente precisa aprender o valor das ações e selecioná-las dependendo da situação.

No aprendizado, o agente utiliza uma rede neural artificial, do tipo *backpropagation*, onde o neurônio de saída representa o valor da ação correspondente. O valor de uma ação é a diferença entre o sinal de avaliação recebido antes da ação (avaliação prévia) e depois da ação realizada. Uma ação pode ser, por exemplo, “o agente se movimentar no ambiente para a esquerda”.

Nos experimentos sobre a aplicação da presa e do predador, foram realizadas duas mil (2.000) simulações. O critério usado para comparação do modelo de coordenação com e sem o uso de aprendizado por reforço foi a taxa de captura da presa, a fim de verificar o sucesso dos resultados.

4.3.2 Coordenação no Processo de Tomada de Decisão

O trabalho de [BAH 2000] aborda a questão da flexibilidade dentro da capacidade de coordenação dos agentes em relação ao processo de tomada de decisão. A fim de solucionar problemas coletivamente, cada agente deve ter a capacidade de coordenar seus processos de tomada de decisão. Para isso, os agentes necessitam ser capazes de usar vários modelos de coordenação e ter habilidade para selecionar o mais apropriado para a situação corrente.

Propõe como características a serem consideradas para comparação de modelos de coordenação referente ao processo de tomada de decisão:

- *as exigências impostas pelo modelo de coordenação*: os modelos podem exigir diferentes habilidades dos agentes, podem ou não envolver comunicação entre eles e podem restringir suas capacidades;
- *custo de execução do modelo de coordenação*: os modelos podem consumir recursos dos agentes, como, por exemplo, uma alta taxa de troca de mensagens. Assim, pode-se verificar a quantidade de mensagens trocadas entre os agentes, o tempo de CPU necessário e o tempo de tomada de decisão;
- *a qualidade da solução do problema*: o uso de diferentes modelos de coordenação pode produzir soluções de diferente qualidade.

Foi realizada uma comparação entre quatro técnicas de resolução de conflito, em relação às características descritas, que o autor aborda como estratégias de coordenação: *negociação* (técnica de resolução de conflitos mais popular para sistemas multiagentes);

arbítrio (o árbitro possui autoridade e sua decisão deve ser aceita pelos agentes envolvidos no conflito); *voto* (cada agente expressa suas preferências e vota) e *auto-modificação* (um agente detecta um conflito, mas não quer interagir com outros agentes para solucioná-lo, prefere modificar seu próprio comportamento).

A comparação é apresentada na tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Comparação de estratégias de coordenação [BAH 2000]

	<i>Restrições</i>	<i>Custo</i>	<i>Qualidade</i>
<i>Negociação</i>	exige comunicação e todos agentes podem tomar decisões	com o aumento do número de agentes, a complexidade aumenta	não garante que uma solução seja atingida, mas pode ser de alta qualidade
<i>Arbítrio</i>	exige comunicação, exige um agente árbitro e todos agentes obedecem ao árbitro	com o aumento do número de agentes, a complexidade aumenta	garante que uma solução seja atingida e pode ser de baixa qualidade
<i>Voto</i>	exige comunicação, os agentes têm o direito de votar e todos agentes devem obedecer ao resultado da votação	com o aumento do número de agentes, a complexidade aumenta	não garante que uma solução seja atingida, e a solução pode ser de baixa qualidade
<i>Auto-modificação</i>	todos agentes têm autoridade para tomar decisões	complexidade constante	não garante que uma solução seja atingida, e a solução pode ser de baixa qualidade

4.3.3 Dimensões da Coordenação de Agentes

O trabalho de [DUR 2001] ressalta três dimensões a serem consideradas em uma estratégia de coordenação, a fim de identificar suas capacidades e limitações:

- *a população de agentes*: refere-se à manipulação dos agentes pelo modelo de coordenação. Nesta dimensão, pode-se identificar a quantidade (se cada agente interage com todos os outros, o número de interações cresce com o número de agentes e, assim, o problema de coordenação pode ser mais complexo); a heterogeneidade (agentes com diferentes arquiteturas internas, metas, crenças e capacidades); e a complexidade dos agentes (o quão difícil é prever o que um agente fará – agentes menos complexos são mais previsíveis e, portanto, a coordenação é menos complexa);
- *o ambiente de tarefas*: refere-se ao ambiente no qual os agentes atuam e as tarefas que eles realizam neste ambiente. Nesta dimensão, pode-se identificar o grau de interação (o grau de interação aumenta com o número de agentes envolvidos e quanto maior o número de interações, maior é a necessidade de coordenação); a dinâmica (a dinâmica de se lidar com as trocas no ambiente pode ser mais complexa, uma vez que cada agente pode mudar sua decisão em relação a que metas realizar e como); e a distributividade do ambiente (ambientes nos quais as tarefas são distribuídas entre agentes que estão distribuídos, aumentando a incerteza sobre quais agentes estão envolvidos em uma determinada tarefa e o que cada agente deve fazer);
- *a solução*: refere-se à produção de resultados satisfatórios. Nesta dimensão, pode-se identificar a qualidade (o quão bem a solução coordena as interações entre os agentes

ou quão eficiente é no uso de recursos e capacidades dos agentes); a robustez (um ambiente incerto e dinâmico pode afetar a robustez de uma solução); e as limitações da solução (por exemplo, se a comunicação é custosa e requer muito tempo, o modelo de coordenação pode reduzir a troca de informações).

Segundo [DUR 2001], uma estratégia de coordenação deve levar em consideração as dimensões que abordará, dado um domínio de aplicação. Por exemplo, uma estratégia que manipula agentes complexos e heterogêneos pode necessitar limitar o número de agentes; diminuir a interação entre os agentes pode simplificar a distributividade em um ambiente dinâmico.

4.3.4 Aprendizado para Selecionar um Mecanismo de Coordenação

O trabalho de [EXC 2002] aborda a questão de agentes autônomos, com capacidade de aprendizado, que tomam decisões em tempo de execução, sobre qual mecanismo de coordenação utilizar para coordenar suas atividades, em função das propriedades de cada um. Isto é interessante para ambientes imprevisíveis e dinâmicos.

Os agentes devem ser capazes de raciocinar e aprender a tomar decisões certas sobre seu problema de coordenação e, assim, selecionar mecanismos que sejam adequados para a situação corrente.

Um agente que, com o objetivo de atingir a sua meta, depara-se com uma tarefa cooperativa, deve decidir se inicia a coordenação com os outros agentes a fim de realizá-la. Para isso, o agente deve determinar se existem vantagens, que dependem da recompensa oferecida, dos mecanismos de coordenação disponíveis e dos fatores ambientais que afetam a coordenação dos agentes.

Alguns agentes realizam desvios significativos de suas tarefas específicas para atingir a tarefa cooperativa, enquanto outros são capazes de coordenar a tarefa cooperativa em função de suas próprias metas. Desta forma, avaliam cada mecanismo de coordenação em termos da quantidade excedente de recompensa que ele pode oferecer e da sua probabilidade de sucesso. O agente seleciona o mecanismo de coordenação que maximiza esta recompensa.

A técnica utilizada para o aprendizado foi o Aprendizado por Reforço, já que o trabalho trata com agentes que buscam atingir suas metas e obtêm recompensas sempre que realizam uma meta eficientemente.

A avaliação realizada foi empírica, utilizando um cenário, onde o ambiente corresponde a uma matriz, no qual os agentes executam tarefas para as quais recebem recompensa. Cada agente tem uma tarefa específica e, além disso, existem outras tarefas que exigem vários agentes para executá-las (tarefas cooperativas). Cada tarefa tem uma recompensa associada. Os agentes podem se movimentar no ambiente, para cima, para baixo, para esquerda ou para a direita e, assim, atingir as metas.

O objetivo era avaliar se os agentes iriam se coordenar de maneira mais eficiente nos cenários abordados, usando algoritmos baseados em reforço. Para isso, foram empregados métodos de inferência estatística, que analisam, sob as mesmas circunstâncias e situações, os valores gerados pela execução de algoritmos em um ambiente específico, a fim de investigar hipóteses. Os valores utilizados para os experimentos foram: a recompensa total obtida pelo agente na realização de suas tarefas específicas e cooperativas e o número total de tarefas cooperativas realizadas.

4.3.5 Comentários Sobre os Trabalhos do Estado da Arte

Os trabalhos relacionados com avaliação de coordenação, encontrados na literatura, foram descritos nas seções anteriores. São os trabalhos de: Jong [JON 99], Barber [BAH 2000], Durfee [DUR 2001] e Excelente-Toledo [EXC 2002].

A seguir, apresenta-se alguns comentários sobre cada um deles, referentes aos aspectos de avaliação de coordenação.

O trabalho de [JON 99], sinais de avaliação de coordenação com o uso de aprendizado, aborda um único critério de comparação que é o *sucesso dos resultados* (no caso específico do problema da presa e do predador, a taxa de captura da presa), enfatizando o aprendizado. Uma limitação está no objetivo de comparar apenas um modelo de coordenação em específico, o de Comunicação de Avaliação, com e sem o uso de aprendizado por reforço, sem referenciar a possibilidade de expansão para outros modelos de coordenação e utilizando apenas um critério. É um critério de avaliação aplicado apenas sobre o modelo de coordenação desenvolvido para a aplicação.

O trabalho de [BAH 2000], coordenação no processo de tomada de decisão, aborda critérios para comparação de modelos, enfatizando o processo de tomada de decisão. É uma comparação entre diferentes estratégias de coordenação, que o autor assume como sendo: negociação, arbítrio, voto e auto-modificação. São estratégias relacionadas à resolução de conflitos, nas quais a tomada de decisão dos agentes é explícita. Um dos critérios também refere-se à *qualidade da solução*. São critérios de avaliação também a serem aplicados apenas sobre o modelo de coordenação desenvolvido para a aplicação. Uma limitação do trabalho é que o seu escopo restringe-se a estratégias de resolução de conflitos, não considerando outros aspectos.

O trabalho de [DUR 2001], dimensões da coordenação de agentes, situa os critérios abordados em três dimensões (população de agentes, ambiente de tarefas e solução). Cada dimensão possui vários critérios relacionados. Um dos critérios propostos também refere-se a *resultados satisfatórios*. Este trabalho é bastante completo no que tange à abrangência de critérios para a avaliação de coordenação. Não apresenta, entretanto, propostas de como medir e/ou aplicar os critérios em situações práticas.

No trabalho de [EXC 2002], aprendizado para selecionar um mecanismo de coordenação, a idéia apresentada é do próprio agente selecionar um mecanismo de coordenação. É mais adequado para sistemas com agentes cognitivos, que têm capacidade de raciocínio, utilizando aprendizado. O agente avalia os mecanismos disponíveis em função da recompensa (aprendizado por reforço) que receberá se executar as tarefas de maneira coordenada. Neste caso, a avaliação é sob o ponto de vista do agente. Também há uma avaliação externa, na qual os critérios abordados referem-se ao aprendizado, que são a recompensa total obtida pelo agente e o número de tarefas cooperativas realizadas por ele. O problema é que causa limitações para as aplicações que trabalham apenas com agentes reativos ou com agentes sem capacidade de aprendizado.

4.4 Problemática do Tema e Proposta

Existem vários modelos para solucionar problemas de coordenação. Mas qual deles melhor se adapta para a solução de um problema de coordenação específico (uma aplicação) ?

Em relação a esta questão, propõe-se neste trabalho duas idéias, como segue:

- realizar uma análise das características do problema em questão para auxiliar na escolha do modelo de coordenação mais adequado. Esta etapa será referenciada no texto como *classificação*;
- realizar uma avaliação *a posteriori*, sobre o modelo utilizado, a partir de critérios que ressaltem as características e o desempenho de diferentes modelos de coordenação aplicados ao mesmo problema. Isto avalia o comportamento da coordenação em relação à aplicação.

O ambiente no qual os agentes atuam e as tarefas que eles realizam neste ambiente são considerações importantes no desenvolvimento ou na escolha de um mecanismo ou modelo de coordenação. Por exemplo, na *Robocup*, a comunicação é um fator que pode dificultar a coordenação entre os jogadores, pela sua limitação. Portanto, a escolha de um modelo de coordenação sem comunicação poderia trazer vantagens para a aplicação em questão, em relação à coordenação.

A partir dos estudos realizados sobre diferentes modelos de coordenação aplicados em problemas específicos, observou-se que a escolha do modelo de coordenação, a ser utilizado em um problema, pode basear-se em diversos fatores, como, por exemplo:

- no tipo de problema sendo tratado (classe de problemas);
- na arquitetura dos agentes envolvidos (tipo do agente);
- na comunicação: se existe ou não um protocolo de comunicação; se ela é custosa em relação à carga de mensagens trocadas e ao tempo dispendido;
- nas capacidades dos agentes (preditividade, tomada de decisão, adaptabilidade, outras);
- no conhecimento necessário para executar uma tarefa;
- no conhecimento que um agente possui sobre as capacidades dos outros agentes;
- na qualidade dos resultados atingidos (completeza da solução);
- na interação: o grau de interação pode aumentar com o número de agentes envolvidos no problema. Assim, quanto maior a interação, maior a necessidade de coordenação;
- nos recursos utilizados pelos agentes;
- no tempo de resposta na realização das atividades;
- na robustez da solução: um modelo de coordenação que permita suficiente flexibilidade para os agentes trabalharem com novas situações em sua coordenação original pode aumentar a robustez;
- na complexidade dos agentes: coordenação com agentes menos complexos é mais fácil porque estes agentes são mais previsíveis, em relação as suas decisões de tarefas e de metas. Por outro lado, os agentes são mais limitados;
- no custo de execução do modelo de coordenação: número de mensagens exigido pela solução; tempo de processamento requerido; tempo de tomada de decisão individual;

- nos conflitos: se são evitados ou não pelo modelo de coordenação.

O esquema da figura 4.1 apresenta a proposta deste trabalho para avaliação de coordenação multiagente, que será descrita detalhadamente nas próximas seções.

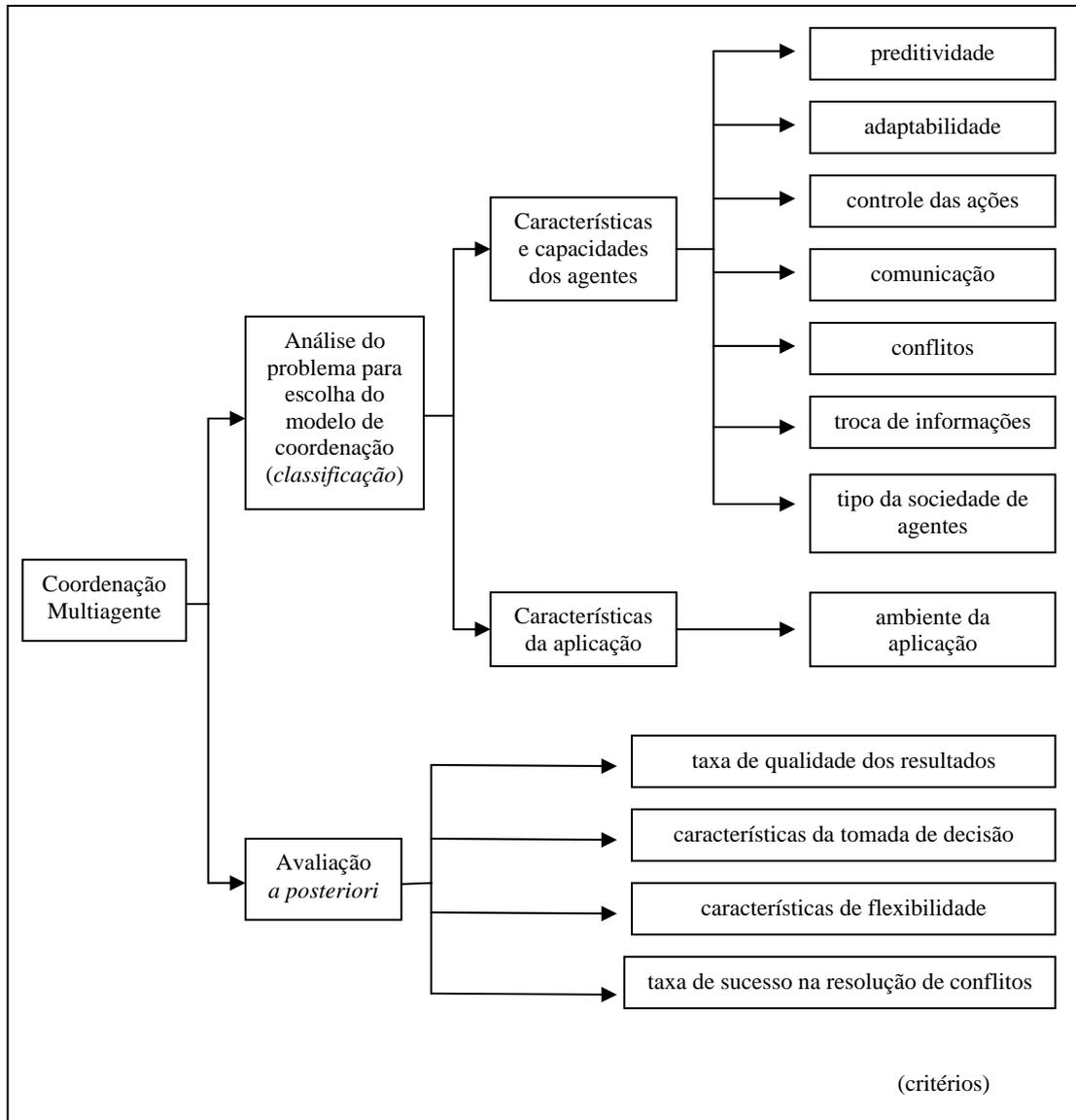


FIGURA 4.1 – Critérios para avaliação de coordenação multiagente

É importante analisar se um modelo de coordenação é apropriado para ser empregado como solução ao problema de coordenação de uma aplicação. Para isso, são necessários critérios de análise/avaliação, que podem fornecer indicações sobre o comportamento do sistema frente ao modelo de coordenação utilizado.

4.5 Definição dos Critérios de Avaliação da Coordenação Multiagente

Critérios são usados em procedimentos de avaliação e de comparação de ações, desempenhos, soluções e sistemas, sob um ponto de vista (seção 4.2 do capítulo 4). No presente trabalho, aborda-se a coordenação multiagente.

O objetivo da avaliação, segundo um conjunto de critérios, é levar a uma tomada de decisão coerente e satisfatória em relação à solução do problema. Assim, o objetivo de avaliar diferentes modelos de coordenação, em alguma aplicação, é verificar o desempenho desses modelos na coordenação dos agentes, durante a execução de suas ações, e encontrar padrões que associem as características da aplicação com um modelo de coordenação, auxiliando uma escolha *a priori*.

O conjunto de critérios proposto e sua explicação serão apresentados a seguir.

4.5.1 Análise do Problema: *Classificação*

Em relação às indicações do uso de um modelo de coordenação adequado para o problema em questão, duas situações podem ocorrer:

- os agentes já estão modelados e desenvolvidos e há necessidade de se incorporar um modelo de coordenação, objetivando melhora no desempenho dos agentes quando da realização de suas tarefas. Neste caso, leva-se em consideração as características já existentes no sistema para a indicação de um modelo de coordenação a ser utilizado, o que pode restringir a escolha do modelo. Assim, o modelo de coordenação é adaptado ao sistema existente. Tais características podem ocasionar limitações à coordenação como, por exemplo, se a comunicação entre os agentes é precária ou não confiável, a coordenação não poderá basear-se em uma comunicação efetiva. A avaliação *a posteriori* é aplicada ao sistema desenvolvido, a fim de avaliar o modelo de coordenação usado. Esta situação é ilustrada na figura 4.2;

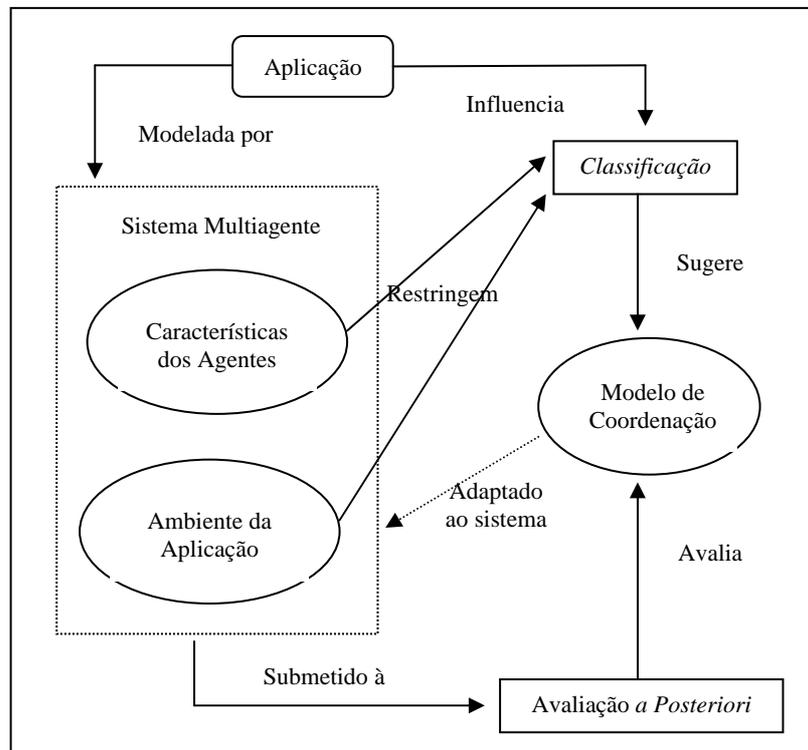


FIGURA 4.2 – Situação: modelo de coordenação adaptado ao sistema existente

- os agentes estão sendo ou serão projetados. Neste caso, o modelo de coordenação sugerido pela *classificação* pode determinar as características dos agentes, para desenvolver um adequado modelo de coordenação que satisfaça às necessidades do problema. Assim, a indicação do modelo de coordenação é feita a partir do que o

projetista/desenvolvedor pretende para o sistema. Ou, o projetista/desenvolvedor pode optar por um modelo de coordenação e, após, seguir as características que o modelo impõe para os agentes. A avaliação *a posteriori* é aplicada ao sistema desenvolvido, a fim de avaliar o modelo de coordenação usado. Esta situação é ilustrada na figura 4.3.

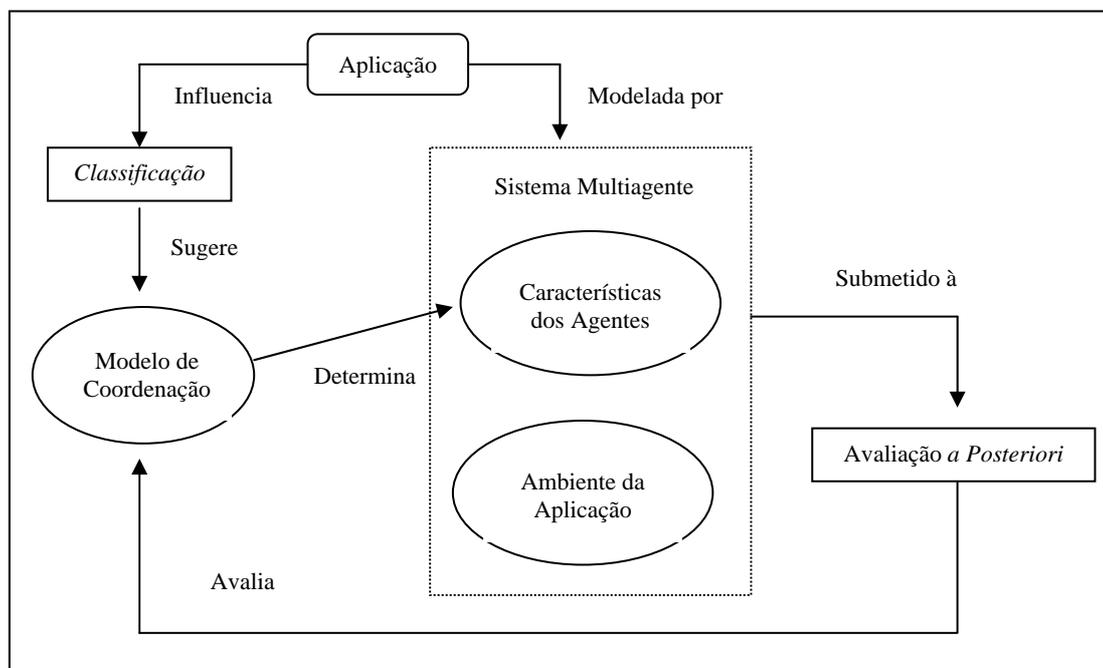


FIGURA 4.3 – Situação: agentes sendo projetados

A *classificação* destina-se a melhorar o processo de tomada de decisão sobre a escolha de um modelo de coordenação, fornecendo indicativos que auxiliem os projetistas/desenvolvedores nesta escolha. Para isso, um conjunto de questões foi formulado.

As características, definidas na seção 3.3 do capítulo 3, são usadas para estabelecer as questões da *classificação*, em função:

- *das características e capacidades dos agentes*: que envolvem os critérios de:
 - preditividade: é a capacidade de prever o que pode acontecer no futuro. No contexto deste trabalho, é a capacidade de determinar o estado futuro do ambiente e dos agentes;
 - adaptabilidade: é a capacidade do agente adaptar-se a eventos ou a situações inesperados, ambientar-se às exigências e características da sociedade e do ambiente;
 - controle das ações: é o modo como as ações são atribuídas aos agentes da sociedade para a solução de um determinado problema. Pode haver um agente responsável por atribuir as ações aos demais agentes envolvidos (controle centralizado), ou cada agente ser capaz de determinar as suas ações a realizar (controle distribuído);
 - comunicação: é a transmissão e a recepção de informações através de algum meio, como protocolos de comunicação ou sinais. É a maneira como os agentes tomam conhecimento das ações, dos outros agentes e do ambiente;

- conflitos: são desacordos, choques de interesse ou colisões entre agentes. Por exemplo, agentes colidirem quando se deslocam no ambiente geram um conflito; agentes que querem utilizar um mesmo recurso ao mesmo tempo geram um conflito; agentes que querem realizar ações contraditórias para uma mesma meta geram um conflito;
- troca de informação: no contexto deste trabalho, é a informação manipulada e trocada entre os agentes para que estes realizem a sua tarefa de coordenação;
- tipo da sociedade de agentes: agentes são entidades reais ou virtuais autônomas que estão inseridas em um ambiente, possuem conhecimento e capacidade de percepção, ação, comunicação, adaptabilidade, raciocínio, entre outras. O tipo da sociedade de agentes refere-se, neste trabalho, a sua estrutura interna (agentes homogêneos e heterogêneos).
- *das características da aplicação*: que envolve o critério de:
 - ambiente da aplicação: aplicações são problemas, com características específicas, relacionados a determinado domínio.

O seguinte conjunto de questões reflete a *classificação*:

1. Os agentes possuem/possuirão conhecimento das capacidades dos outros agentes ?
 - () não
 - () sim
2. Os agentes possuem/possuirão a capacidade de prever o estado futuro do ambiente ou do comportamento/ações dos outros agentes ?
 - () não
 - () sim, alguns agentes
 - () sim, todos agentes
3. Os agentes são/serão capazes de adaptar-se a eventos, a situações inesperadas ou ao ambiente onde estão inseridos ?
 - () não
 - () sim
4. O controle das ações dos agentes é/será:
 - () centralizado (um agente atribui tarefas aos demais)
 - () distribuído (cada gente decide as tarefas em função do seu conhecimento)
5. Se existe comunicação direta entre os agentes, qual é/será o seu objetivo ?
 - () solucionar um conflito, realizando negociação
 - () trocar informações, a fim de cooperar ou colaborar
 - () comunicar tomada de decisão de um agente para os outros agentes
 - () não existe/existirá comunicação

6. Em relação à rede de comunicação:
- cada agente pode/poderá se comunicar com todos os outros agentes
 - cada agente pode/poderá se comunicar com alguns dos outros agentes
 - não se aplica
7. Em relação à comunicação entre os agentes:
- existe/existirá um protocolo de comunicação que funciona bem
 - existe/existirá um protocolo de comunicação que é precário
 - não existe/existirá comunicação
8. As atividades dos agentes levam/levarão à disputa de recursos ?
- sim e existe/existirá um protocolo de negociação disponível
 - sim e não existe/existirá um protocolo de negociação disponível
 - não
9. Ocorrem/ocorrerão situações de conflito entre os agentes ?
- sim e as situações de conflito são/serão resolvidas implicitamente
 - sim e as situações de conflito não são/serão resolvidas por uma técnica específica
 - não
- Observação: situações de conflito resolvidas implicitamente significa que são resolvidas por uma técnica relacionada ao modelo de coordenação.
10. A troca de informações entre os agentes:
- não ocorre/ocorrerá
 - ocorre/ocorrerá, por meio de comunicação
 - ocorre/ocorrerá, por meio do ambiente
11. A aplicação em questão trabalha/trabalhará com uma sociedade de agentes:
- homogêneos
 - heterogêneos
 - ambos
12. O ambiente da aplicação envolve/envolverá:
- dinamicidade
 - tempo-real
 - simulações
 - simplicidade de ações
 - complexidade de ações
 - escalonamento

() outros

O objetivo deste conjunto proposto de questões é fornecer indicações para a escolha de um modelo de coordenação que seja o mais adequado em função das características dos agentes e da situação em questão.

A tabela 4.3 relaciona as questões definidas com o conjunto de características abordadas para a *classificação*.

TABELA 4.3 – Relação questões-características na *classificação*

<i>Questões</i>	<i>Características</i>
1 e 2	Preditividade
3	Adaptabilidade
4	Controle das ações
5, 6 e 7	Comunicação
8 e 9	Conflitos
10	Troca de informações
11	Tipo da sociedade de agentes
12	Ambiente da aplicação

Os modelos de coordenação estudados neste trabalho e descritos na seção 3.2 do capítulo 3 foram: Formação de Coalizão (planejamento e sincronização), *Look-Ahead* (reativa e regulamentação), Pontos Focais (reativa, sem comunicação), Comunicação de Avaliação (reativa e sincronização), Matriz de Ganhos (reativa, sem comunicação) e *GPGP* (planejamento e sincronização).

A tabela 4.4 mostra a relação entre as respostas às questões sugeridas (questões 1 a 12) e a indicação de um modelo de coordenação adequado.

TABELA 4.4 - Relação entre as questões e os modelos de coordenação na *classificação*

	Formação de Coalizão	Look-Ahead	Pontos Focais	Comunicação de Avaliação	Matriz de Ganhos	GPGP
<i>Questão 1</i>	sim	sim	não	sim / não	sim	sim / não
<i>Questão 2</i>	não	sim, todos	sim, todos	não	sim, todos	não
<i>Questão 3</i>	sim	sim	sim	sim	sim	sim
<i>Questão 4</i>	distribuído	distribuído	distribuído	distribuído / centralizado	distribuído	distribuído / centralizado
<i>Questão 5</i>	cooperar/colaborar/tomada decisão	cooperar / colaborar	não existe	cooperar / colaborar	não existe	solucionar conflito/ tomada de decisão / cooperar / colaborar
<i>Questão 6</i>	com todos	com todos	não se aplica	com todos	não se aplica	com todos
<i>Questão 7</i>	funciona bem	funciona bem	não há / precário	funciona bem	não há / precário	funciona bem
<i>Questão 8</i>	não / sim e existe negociação	não	não	não	não	sim e existe negociação
<i>Questão 9</i>	sim e resolvidos	sim e resolvidos	não/sim e não resolvidos	não/sim e não resolvidos	não/sim e não resolvidos	sim e resolvidos
<i>Questão 10</i>	comunicação	comunicação	não ocorre / ambiente	comunicação	não ocorre / ambiente	comunicação
<i>Questão 11</i>	heterogêneos	homogêneos	ambos	heterogêneos	homogêneos	homogêneos
<i>Questão 12</i>	dinamicidade	escalonamento/tempo real	simulações	simplicidade de ações / simulações	simulações	escalonamento

Algumas considerações sobre indicações gerais de escolha de um modelo de coordenação em relação às características da aplicação (tabela 4.4) são ressaltadas a seguir:

- para ambientes com grande dinamicidade, a tomada de decisão deve ser rápida, minimizando o tempo. Assim, o uso de um modelo de coordenação que apenas envolva planejamento não é aconselhável, pois necessita de tempo para a formação e decisão sobre planos. Já a coordenação reativa pode ser uma solução, porque os agentes reagem rapidamente a eventos do ambiente;
- para o uso de um modelo de coordenação que envolva planejamento, é aconselhável que exista um protocolo de comunicação entre os agentes, facilitando a elaboração e a tomada de decisão sobre planos;
- quando a comunicação não existe, é precária ou restrita, indica-se o uso de modelos como o de pontos focais e o de matriz de ganhos;
- quando a comunicação entre os agentes da aplicação é necessária, um fator importante é determinar qual é o objetivo da comunicação. Por exemplo, se a comunicação é utilizada para realizar negociação (para solucionar um conflito ou tomar uma decisão), é aconselhável um protocolo de comunicação que funcione bem. Mas, se a comunicação aparece na aplicação apenas como uma característica desejável, pode-se pensar em utilizar um modelo de coordenação que priorize outras características/capacidades dos agentes, reduzindo o custo da comunicação;
- para situações que envolvam escalonamento de tarefas, um modelo de coordenação baseado em sincronização pode auxiliar na eficiência da solução;
- quando situações de conflito podem ocorrer de maneira freqüente entre agentes, é aconselhável usar modelos que resolvam implicitamente estas questões, como *GPGP*, formação de coalizão e *look-ahead*.

Além disso, pode-se considerar cada modelo de coordenação como um caso, que possui como características o conjunto das 12 questões com seus valores específicos. Desta forma, é possível desenvolver um sistema de raciocínio baseado em casos, com uma base de casos de modelos de coordenação, que utilize, por exemplo, o método do vizinho mais próximo para medir o grau de similaridade entre casos [KOL 93].

No método do vizinho mais próximo, cada característica do novo caso de entrada (o problema a ser resolvido) é comparada com cada característica correspondente do caso da base de casos.

As respostas às 12 questões, sobre uma aplicação em particular, gerariam um caso (considerado como um caso de entrada) que seria comparado com o caso da base, por meio da seguinte fórmula de similaridade:

$$\text{Distância}(x,n) = (\sum w_f * \text{sim}(x_f, n_f))^2)^{1/2}$$

A distância entre o caso da base (x) e o caso de entrada (n) é calculada pelo somatório, para todas as características, do peso da característica multiplicado pelo grau de similaridade da característica do caso da base com a mesma característica do caso de entrada. Isto se repete para cada caso da base de casos. A menor distância equivale ao caso mais similar.

Onde:

x = caso da base de casos

n = caso de entrada

f = característica

w = peso atribuído à característica f

$\text{sim}(x_f, n_f)$ = função de similaridade entre o caso da base e o novo caso de entrada, determinada por $|x_f - n_f|$ (módulo da diferença do valor da característica do caso da base e do valor da característica do caso de entrada).

Cada uma das questões deve possuir um grau de importância associado (peso), que será determinado em função da aplicação. Uma mesma questão poderá ter valores de peso diferentes para diferentes aplicações. A atribuição de pesos a cada uma das questões ficará a critério do projetista/desenvolvedor do sistema multiagente.

Por exemplo, para uma aplicação que envolve controle de tráfego aéreo, a característica de comunicação pode receber um peso maior (por ser mais importante nesta situação) do que a característica de adaptabilidade. Porém, para uma aplicação de exploração de ambientes, a característica de adaptabilidade pode receber um peso maior do que a característica de comunicação.

O resultado do sistema de raciocínio baseado em casos será a apresentação do caso mais similar da base, em relação ao caso de entrada, que corresponderá a um modelo de coordenação.

4.5.2 Avaliação a Posteriori: Abordagem GQM (*Goal Question Metric*)

A abordagem GQM é um mecanismo para definição de metas mensuráveis, descrito na literatura de engenharia de *software*, na qual o desenvolvimento de *software* requer um mecanismo de medida para *feedback* e avaliação. Baseia-se na definição de metas, questões e métricas [BAS 94]. É usado para identificar e refinar metas, baseadas nas características do objeto a ser medido (produto, processo, recurso, outros), a fim de melhorar a sua qualidade.

Na fase de interpretação, as medidas são usadas para responder as questões e para concluir se a meta é ou não atingida. Assim, GQM usa uma abordagem *top-down* para definir as métricas e uma abordagem *bottom-up* para analisar e interpretar os dados das medidas.

A abordagem GQM possui três níveis, como apresenta a figura 4.4 [BAS 94] e [BIA 2001]:

1. *nível conceitual (meta)*: uma meta é definida para um propósito específico baseada nas necessidades da organização;
2. *nível operacional (questão)*: um conjunto de questões é usado para caracterizar a forma como atingir a meta específica;
3. *nível quantitativo (métrica)*: conjunto de dados associados às questões. As métricas podem ser *objetivas* (quando a métrica depende apenas do objeto sendo medido e retorna um valor, como, número de versões de um documento e tamanho de um programa) ou *subjetivas* (quando a métrica depende, além do objeto sendo medido,

do ponto de vista de alguém, como, nível de satisfação do usuário e legibilidade de um texto);

GQM é uma estrutura hierárquica, que inicia por uma meta, que especifica o objetivo da medida, o objeto a ser medido e sob o ponto de vista de quem. A meta é refinada em questões e cada questão é então refinada em métricas. Uma mesma métrica pode ser usada para responder diferentes questões e pode ter diferentes valores em função dos diferentes pontos de vista.

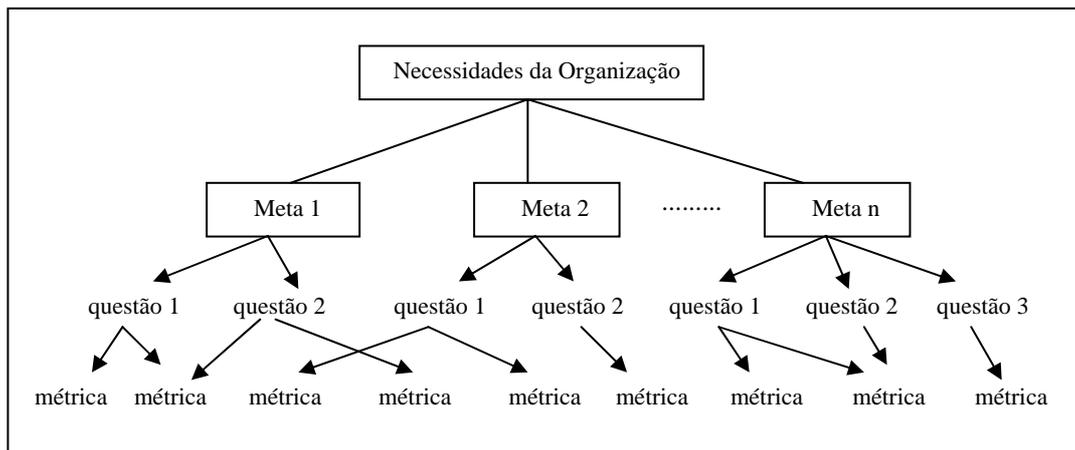


FIGURA 4.4 – Níveis da abordagem GQM

A seguir, apresenta-se um exemplo relacionado ao processamento de solicitação de alteração, durante a fase de manutenção do ciclo de vida de um sistema:

Meta: melhorar o tempo de processamento de solicitação de alteração do ponto de vista do gerente do projeto.

Questão 1: qual é a velocidade atual de processamento?

Métricas: tempo médio do ciclo, desvio padrão, percentagem de casos que ultrapassou o limite

Questão 2: o desempenho do processamento está melhorando ?

Métricas: $(\text{tempo médio do ciclo corrente} / \text{tempo médio base do ciclo}) * 100$ – é uma taxa subjetiva de satisfação do gerente do projeto.

Uma grande dificuldade no processo de avaliação é saber o quê avaliar. A abordagem GQM auxilia a decisão sobre quais critérios podem ser avaliados e como devem ser aplicados, a partir dos objetivos que se esperam com a avaliação. Por este motivo, apresentam-se a seguir os critérios *a posteriori* propostos neste trabalho sob a abordagem GQM.

4.5.2.1 Critério 1: Taxa de Qualidade dos Resultados

Meta: verificar se o modelo de coordenação utilizado leva a um resultado satisfatório da aplicação, sob o ponto de vista do projetista e/ou desenvolvedor de um sistema multiagente.

Questão 1: qual é a taxa de resultados satisfatórios (objetivo desejado foi atingido) ?

Métricas: total de simulações

número de resultados satisfatórios

taxa de resultados satisfatórios

Questão 2: qual é a taxa de resultados insatisfatórios (resultado incorreto ou objetivo não atingido) ?

Métricas: total de simulações

número de resultados insatisfatórios

taxa de resultados insatisfatórios

Este critério relaciona-se à avaliação da qualidade da solução atingida.

A taxa é calculada pelo quociente entre o número de resultados satisfatórios ou insatisfatórios e o número total de simulações realizadas (número total de resultados atingidos), conforme a seguinte equação:

$$TR_1 = (RS / \text{total de simulações}) * 100 \quad \text{e} \quad TR_2 = (RI / \text{total de simulações}) * 100$$

Onde: TR_1 , TR_2 = taxas de resultados

RS = número de resultados satisfatórios

RI = número de resultados insatisfatórios

4.5.2.2 Critério 2: Características da Tomada de Decisão pelos Agentes

Meta: verificar a capacidade dos agentes de decidirem as suas ações em determinadas situações, sob o ponto de vista do projetista e/ou desenvolvedor de um sistema multiagente. As ações dos agentes influenciam diretamente o modelo de coordenação.

Questão 1: a tomada de decisão pelos agentes é individual ou em grupo ?

Métricas: número de agentes envolvidos na tomada de decisão

tempo dispendido para a tomada de decisão (individual ou em grupo)

características que um agente conhece dos outros agentes

Questão 2: a tomada de decisão envolve comunicação entre os agentes (utilizando um protocolo, por exemplo) ?

Métricas: número de agentes envolvidos na comunicação

tempo dispendido na comunicação

número de mensagens trocadas entre os agentes até a decisão

Observações referentes às métricas:

- número de agentes envolvidos na tomada de decisão para a mesma situação: por exemplo, um agente para decidir a jogada que realizará em um certo momento de um jogo de futebol pode tomar esta decisão sozinho ou receber opiniões de seus companheiros;
- características que um agente conhece dos outros agentes: o quanto o agente deve conhecer das capacidades dos outros agentes do ambiente para a sua tomada de decisão. Por exemplo, se um agente tem que decidir entre chutar a bola a gol ou passar para seu companheiro que está próximo ao gol, ele pode considerar para a

sua decisão a capacidade de seu companheiro em relação a ter ou não um bom chute a gol.

4.5.2.3 Critério 3: Características de Flexibilidade do Modelo de Coordenação

Meta: verificar problemas no modelo de coordenação utilizado, quando da incorporação de mudanças referentes aos agentes e ao ambiente, sob o ponto de vista do projetista e/ou desenvolvedor de um sistema multiagente.

Questão: o aumento ou a redução de agentes causa alterações significativas no desempenho do modelo de coordenação (escalabilidade do modelo) ?

Métricas: taxa de aumento/diminuição do tempo de tomada de decisão

taxa de aumento/diminuição do número de conflitos

taxa de aumento/diminuição do tempo de comunicação entre os agentes

As taxas relativas ao tempo de tomada de decisão e ao tempo de comunicação entre os agentes podem ser calculadas conforme a seguinte equação:

$$\text{Taxa de tempo} = ((\text{tempo_novo} - \text{tempo_anterior})/\text{tempo_anterior}) * 100$$

Onde:

tempo_novo = tempo na nova execução com aumento ou diminuição de agentes

tempo_anterior = tempo na execução sem aumento ou diminuição de agentes

A taxa relativa ao número de conflitos pode ser calculada conforme a seguinte equação:

$$\text{Taxa de conflitos} = ((\text{número_novo_conflitos} - \text{número_anterior_conflitos})/\text{número_anterior_conflitos}) * 100$$

4.5.2.4 Critério 4: Taxa de Sucesso na Resolução de Conflitos

Meta: verificar se os agentes conseguem resolver conflitos que surgem durante as suas atividades, auxiliando no bom desempenho do modelo de coordenação, sob o ponto de vista do projetista e/ou desenvolvedor de um sistema multiagente. Estes conflitos podem ser causados por alocação/disputa de recursos (equipamentos, tempo, outros) e também podem ser considerados como colisões entre agentes.

Questão: qual é a taxa de sucesso na resolução de conflitos pelos agentes ?

Métricas: total de conflitos

número de conflitos resolvidos com sucesso

taxa de sucesso na resolução de conflitos

Esta taxa é calculada pelo quociente entre o número de conflitos resolvidos com sucesso por um agente, permitindo que realizasse sua melhor ação, e o número total de conflitos surgidos em uma execução. A equação é a seguinte:

$$\text{TC} = (\text{número de conflitos resolvidos com sucesso} / \text{total de conflitos}) * 100$$

Onde: TC = taxa de sucesso na resolução de conflitos

Algumas considerações em relação aos critérios para a avaliação *a posteriori*:

- o critério 2 pode influenciar o critério 1, porque quanto melhor for a tomada de decisão realizada pelo agente, é provável que melhor seja a qualidade da solução atingida;
- o critério 3 permite uma avaliação do modelo de coordenação em relação a questões que influenciam o comportamento geral do sistema. Quanto maior o grau de flexibilidade do modelo, melhor será a adaptação do mesmo a novas situações;
- o critério 4 pode influenciar o critério 2, porque um conflito pode alterar o processo de tomada de decisão do agente, exigindo do agente maior empenho ou até prejudicando as ações do mesmo;
- o critério 4 pode se relacionar diretamente com o critério 1 em algumas situações, porque haverá casos nos quais a própria resolução de conflitos já levará a uma solução com resultado satisfatório atingido.

4.6 Integração da Avaliação no Ciclo de Vida de Sistemas

Segundo [SOM 2001], as atividades comuns a todos processos de *software* são:

- *especificação de software*: refere-se à funcionalidade do *software* e às restrições de operação;
- *projeto e implementação de software*: refere-se à fase de desenvolvimento;
- *validação do software*: atividade realizada para garantir que o *software* faça o que o cliente deseja;
- *evolução do software*: o *software* deve evoluir com as alterações necessárias para o cliente.

Existem vários modelos de ciclo de vida de um sistema descritos na literatura de engenharia de *software*, como, por exemplo, os modelos cascata, incremental, evolucionário, espiral, formal e baseados em reuso [SOM 2001] e [PET 2001]. O modelo é uma representação do processo de *software* e pode ser usado para explicar diferentes abordagens para o desenvolvimento de *software*.

O modelo cascata é o mais antigo e um dos mais usados no desenvolvimento de sistemas práticos. Por este motivo, foi o modelo escolhido neste trabalho para situar a proposta de avaliação de coordenação no desenvolvimento de um sistema multiagente.

O objetivo não é sugerir uma metodologia no desenvolvimento de sistemas multiagentes, mas mostrar onde a etapa de avaliação pode ser inserida neste processo.

4.6.1 Modelo Cascata de Ciclo de Vida

O modelo em cascata do ciclo de vida de *software* possui as etapas apresentadas na figura 4.5 e descritas a seguir [SOM 2001]:

- *análise de requisitos e definição*: nesta etapa, serviços do sistema, restrições e objetivos são estabelecidos. É uma especificação do sistema;

- *projeto de software e sistema*: o projeto de *software* identifica e descreve o sistema de *software* fundamental, enquanto que o projeto de sistema estabelece a arquitetura geral do sistema;
- *implementação e teste de unidade*: a implementação refere-se ao projeto transformado em um conjunto de programas ou unidades de programas. O teste de unidade verifica cada unidade de programa em relação a sua especificação;
- *integração e teste do sistema*: as unidades de programas são integradas e testadas como um sistema completo para assegurar que os requisitos tenham sido satisfeitos;
- *operação e manutenção*: na operação, o sistema é instalado e colocado em uso. A manutenção envolve correção de erros que não foram descobertos em fases anteriores do ciclo de vida.

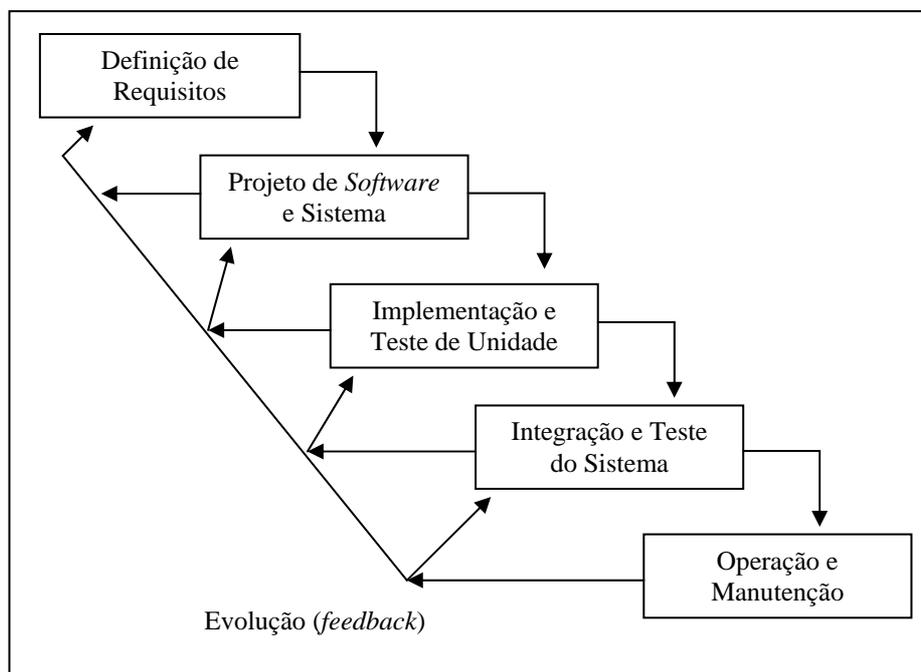


FIGURA 4.5 – Modelo em cascata, adaptado de [SOM 2001]

O resultado de cada etapa são um ou mais documentos aprovados. A etapa seguinte não pode iniciar até que a anterior tenha terminado. Cada etapa pode retornar informações para as outras.

4.6.2 Modelo Cascata com a Proposta de Avaliação

A proposta de avaliação de coordenação apresentada neste trabalho e descrita nas seções deste capítulo 4 aborda duas etapas de avaliação: a *classificação* e a *avaliação a posteriori*.

A figura 4.6 ilustra as etapas de avaliação inseridas no modelo em cascata do ciclo de vida de desenvolvimento de *software*. Como o desenvolvimento de um sistema multiagente pode abordar, de modo geral, as etapas tradicionais de desenvolvimento de um *software*, o objetivo é situar as etapas de avaliação neste processo, permitindo a projetistas e desenvolvedores aplicarem a proposta de avaliação no ciclo de vida de desenvolvimento de seus sistemas multiagentes que envolvam coordenação.

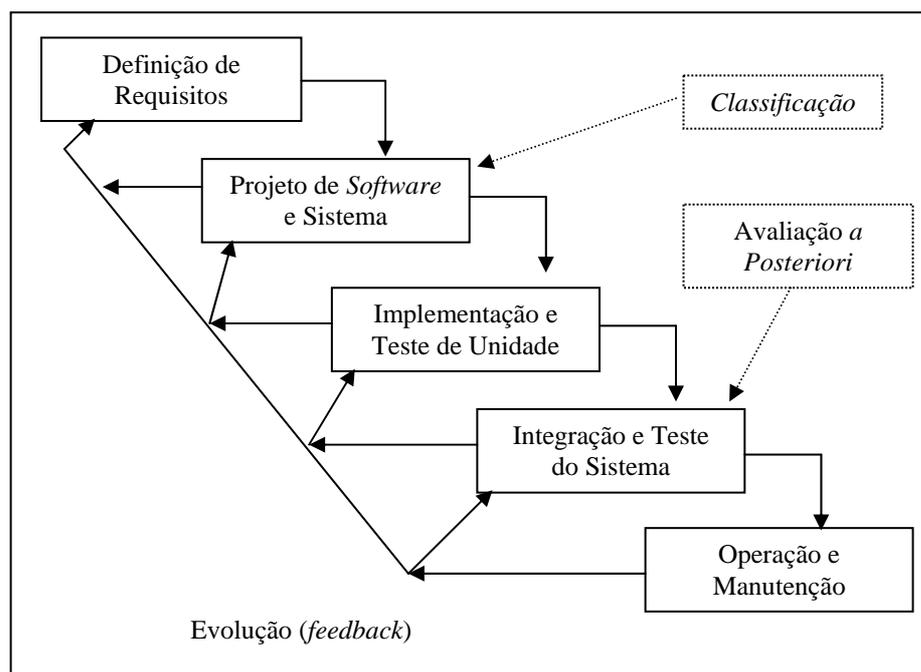


FIGURA 4.6 – Modelo em cascata com as etapas de avaliação

A *classificação* está inserida na etapa de “projeto de *software* e sistema”. Nesta etapa serão definidos: a arquitetura dos agentes, com suas características e capacidades; os modelos de interação, organização, coordenação, entre outros; as características do ambiente da aplicação. Neste momento, a *classificação* é aplicada, com o objetivo de fornecer indicações para o modelo de coordenação a ser utilizado.

A avaliação *a posteriori* está inserida na etapa de “integração e teste do sistema”. Nesta etapa o sistema está pronto para que os testes sejam realizados. Assim, a avaliação *a posteriori* é aplicada sobre o modelo de coordenação, fornecendo informações sobre o comportamento do mesmo no sistema.

Dependendo do resultado obtido pela *classificação*, a própria etapa de “projeto de *software* e sistema” pode sofrer alterações. E, dependendo do resultado da avaliação *a posteriori*, pode-se retornar à etapa de “projeto de *software* e sistema” ou à etapa de “implementação e teste de unidade” para efetuar modificações.

4.7 Considerações

A partir das questões apresentadas neste capítulo, é possível constatar que a avaliação do modelo de coordenação empregado requer o uso de critérios e seu objetivo principal é minimizar e/ou resolver problemas de coordenação.

Mas qual é o melhor modelo de coordenação? A resposta para esta questão não é precisa e única, pois depende das características desejadas na solução para o problema. A melhor solução pode ser, por exemplo, a mais rápida, ou a mais eficiente computacionalmente (que atribui as atividades para os agentes capazes de realizá-las de maneira eficiente), ou a mais tolerante a falhas (segura).

Em relação aos tipos de avaliação (qualitativa e quantitativa) descritos na seção 4.1 deste capítulo, pode-se considerar que:

- a *classificação* é do tipo avaliação qualitativa, pois é uma avaliação descritiva e subjetiva, fornecendo indicativos de uso de modelos de coordenação. Baseia-se em características de problemas específicos e tenta generalizar a situação;
- a avaliação *a posteriori* se enquadra nos dois casos: é do tipo avaliação quantitativa, pois baseia-se em critérios que fornecem dados numéricos, como os critérios 1 (taxa de qualidade dos resultados) e 4 (taxa de sucesso na resolução de conflitos); e do tipo avaliação qualitativa, identificando características do comportamento dos modelos empregados, fornecidas pelos critérios 2 (características da tomada de decisão pelos agentes) e 3 (características de flexibilidade do modelo de coordenação). Estes dados podem ser usados para comparação entre diferentes modelos de coordenação.

Referente à escolha de um domínio de aplicação, as características do Simulador da *Robocup* mostram que ele é um ambiente adequado para avaliação de sistemas multiagentes [MAT 96], já que permite a pesquisa de diversos pontos importantes, como mecanismos de coordenação, aprendizado, adaptação, entre outros. Neste contexto, propõe-se a utilização do Simulador do *SoccerServer* para exemplificar a avaliação da coordenação multiagente em um ambiente dinâmico⁴.

É um cenário que permite exemplificar o uso de reatividade e deliberação em conjunto em um sistema multiagente. Neste caso, a reatividade é necessária para permitir aos agentes reagirem rapidamente a eventos do ambiente (pela dinamicidade da aplicação), e a deliberação é necessária para se atingir um apropriado processo de tomada de decisão e de coordenação dos agentes.

A outra aplicação utilizada, desenvolvida por [SIL 2003] em sua tese de doutorado, refere-se ao agendamento de compromissos. Essa aplicação foi escolhida por ser referente a um domínio mais cognitivo que o da *Robocup* e para mostrar a aplicabilidade da proposta de avaliação apresentada em diferentes domínios.

Os próximos capítulos abordarão dois exemplos de avaliação de coordenação, no âmbito dos domínios de aplicação *Robocup* e Gerenciamento de Agendas Distribuídas.

⁴ Ambiente dinâmico é aquele no qual o estado da situação atual está constantemente em mudança.

5 Aplicação: Robocup

Um cenário típico para a aplicação de Sistemas Multiagentes em ambiente dinâmico é o de simulação da *Robocup*, o *SoccerServer* [NOD 96].

A utilização da coordenação entre jogadores na *Robocup* representa um desafio, frente à dinamicidade das situações de jogo. Por esse motivo, foi um dos ambientes escolhidos como aplicação. Os modelos de coordenação foram implementados no *Time UFRGS*, desenvolvido por [BAG 2001].

5.1 A iniciativa *Robocup*

A iniciativa *Robocup* (*Robot World Cup*) é uma competição realizada entre diversos times de futebol de agentes (robôs e simulação) desenvolvidos por pesquisadores de vários países.

A *Robocup*, a copa mundial de futebol de robôs, é uma fonte de educação e de pesquisa internacional. Trata-se de uma tentativa de promover pesquisas na área de Inteligência Artificial, fornecendo um problema padrão para ser resolvido, um jogo de futebol. Por possibilitar a simulação de um jogo, com um time de futebol de agentes, com razoável aproximação da realidade, necessita a integração de uma variedade de tecnologias como: o projeto de agentes autônomos, o processamento em tempo real, a robustez contra ruído, a cooperação e a coordenação em sistemas multiagentes, as estratégias de aquisição do conhecimento, o aprendizado, o processamento de informações incompletas, entre outras.

A comunidade da *Robocup* tem como principal objetivo: “Pelo ano de 2050, desenvolver um time de robôs humanóides completamente autônomos que poderão ganhar uma partida contra os campeões da copa do mundo de futebol”. Para alcançar este objetivo, um conjunto de tarefas foi definido. Desta maneira, a *Robocup* foi dividida em ligas. A liga de simulação foca principalmente em aperfeiçoar e utilizar as técnicas de Inteligência Artificial para controlar os jogadores. As outras ligas, como as de robôs físicos, focam em tópicos como visão de máquina e navegação em terreno. Este trabalho aborda a liga de simulação.

A liga de simulação da *Robocup* utiliza o ambiente *SoccerServer* para simular os movimentos dos jogadores em um campo de futebol. O *SoccerServer* proporciona um ambiente cliente-servidor, onde o cliente representa o jogador, que é dotado de capacidade de percepção (visão e audição) e energia de movimento, ambas limitadas. O servidor consiste de duas partes: um programa servidor, com um protocolo de comunicação, definido entre os clientes e o monitor, que mostra as ações dos jogadores no campo virtual; e o monitor, que produz uma imagem virtual como o placar atual, os times e as posições dos jogadores.

A figura 5.1 apresenta o campo de futebol virtual do *SoccerServer*.

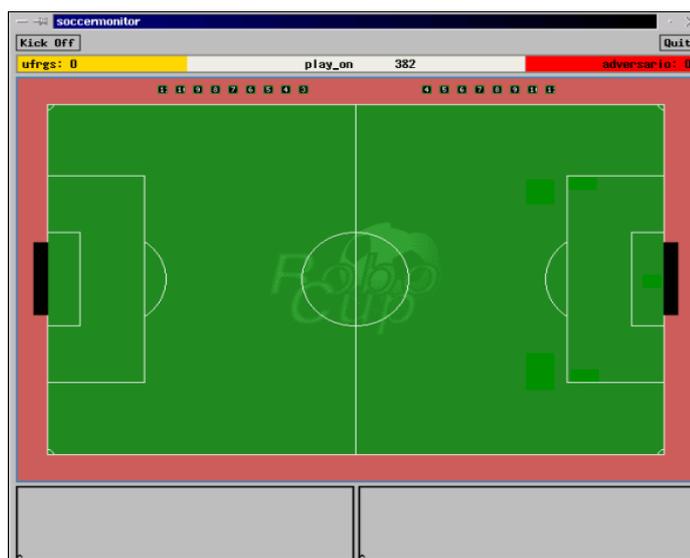


FIGURA 5.1 – Monitor do SoccerServer

A tabela 5.1 apresenta o histórico da *Robocup*, com os respectivos times vencedores, na liga de simulação, em cada ano de realização do evento.

TABELA 5.1 – Histórico da *Robocup*

Ano	Local	Evento Associado	Desenvolvedor do Time	Vencedor
1997	Nagoya (Japão)	IJCAI'97 ⁵	Humboldt University (Alemanha)	Humboldt
1998	Paris (França)	ICMAS'98 ⁶	Carnegie Mellon University (EUA)	CMUnited
1999	Estocolmo (Suécia)	IJCAI'99	Carnegie Mellon University (EUA)	CMUnited
2000	Melbourne (Austrália)	-	Universidade de Porto e de Aveiro	FC Portugal Team
2001	Seattle (EUA)	IJCAI'01	Tsinghna University (China)	Tsinghuaeolus
2002	Fukuoka (Japão) / Busan (Korea)	-	Tsinghna University (China)	Tsinghuaeolus
2003	Padova (Itália)	-	University of Amsterdam (Netherlands)	UvA Trilearn

5.2 O Time UFRGS

Em meados do ano de 2000, foi desenvolvido no Instituto de Informática da UFRGS, como dissertação de mestrado, um protótipo de um time de agentes para a liga de simulação da *Robocup*, o Time UFRGS [BAG 2001].

O Time UFRGS é composto por agentes jogadores que demonstram um nível considerável de competência para a realização de suas tarefas, tais como: percepção,

⁵ IJCAI – *International Joint Conference on Artificial Intelligence*.

⁶ ICMAS – *International Conference on Multi-Agent Systems*.

ação, cooperação emergente, estratégias pré-definidas, decisão e previsão. Consiste de onze agentes, onze programas independentes. Cada agente constrói um modelo do estado do mundo corrente e, baseado em um conjunto de comportamentos, escolhe uma ação apropriada para realizar no campo de futebol. Por meio de ações autônomas, cada agente contribui para alcançar o objetivo do time.

5.2.1 Arquitetura do Time UFRGS

A arquitetura do time de simulação UFRGS tem como principais características:

- *tipo do agente*: é um agente autônomo concorrente, essencialmente reativo. No entanto, a arquitetura proporciona aspectos mais elaborados, como memória. O jogador possui uma memória curta (de 3 tempos), que o permite lembrar situações passadas;
- *comportamento dos agentes*: cada agente constrói um modelo do mundo baseado em suas percepções que, associado a um conjunto de comportamentos, estabelece uma ação apropriada para ser realizada no ambiente. Esse modelo é atualizado a cada nova informação de percepção recebida do servidor, ou seja, o agente processa o estado atual do mundo e, como resposta, fornece ao *SoccerServer* a ação a ser executada pelo jogador;
- *variáveis de controle*: foram definidas variáveis de alto nível, que se caracterizam por refletir o estado corrente do agente. Estas variáveis compõem as regras de comportamento do agente, facilitando, consideravelmente, a implementação das táticas da jogada. Algumas variáveis de controle utilizadas são ‘estou desmarcado’, ‘companheiro pode chutar’, ‘adversário desmarcado’, ‘adversário perto de mim’, entre outras;
- *mecanismo de “comandos no escuro”*: foi implementado um mecanismo que possibilita ao agente realizar ações em tempos futuros sem ter informação visual. Esse mecanismo foi chamado de “comandos no escuro” por não necessitar de informação visual nem de processamento interno completo para ser efetuado. O jogador age com base na informação visual de entrada. Se, em um dado ciclo, ele não receber informação visual, então ele não irá realizar ação alguma. No entanto, quando o mecanismo de “comandos no escuro” está ativado, o agente executa uma ação com base na última ação enviada ao simulador. Desta forma, o jogador pode manter-se em constante movimento;
- *adição de comportamentos*: uma das grandes características do time é a possibilidade de adicionar novas jogadas em um módulo do jogador dedicado especialmente para isso. Nesse módulo, estão disponíveis as variáveis de controle e o comando de saída gerado é enviado de forma transparente para o *SoccerServer*.

A figura 5.2 apresenta uma idéia geral da arquitetura do time UFRGS.

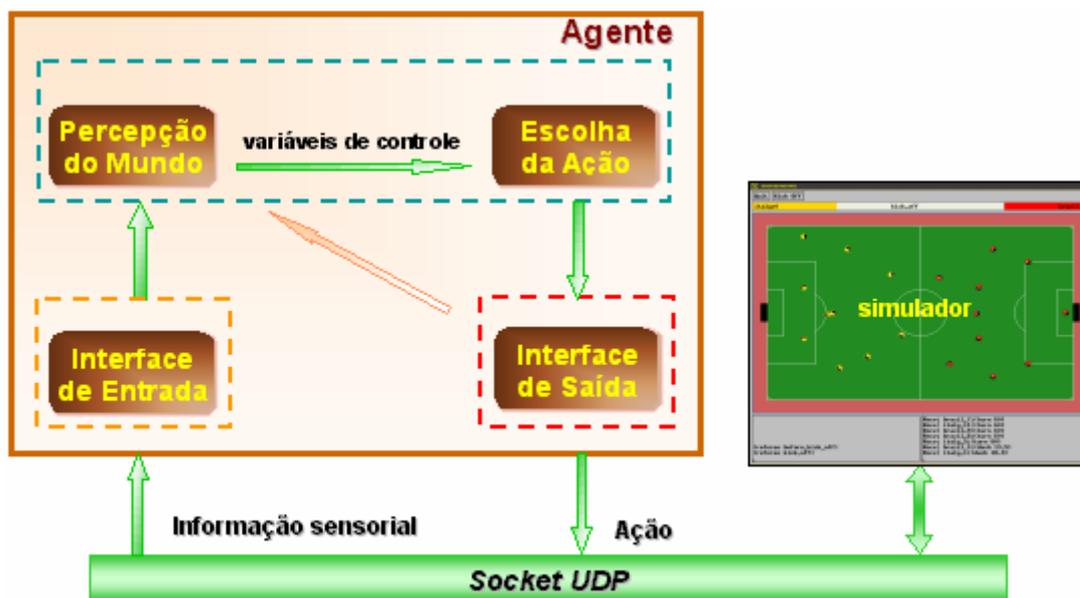


FIGURA 5.2 – Arquitetura do time UFRGS [BAG 2001]

Na arquitetura geral de um agente individual, apresentada na figura 5.2, é possível identificar quatro módulos principais: Interfaces de Entrada e de Saída, Percepção do Mundo e Escolha da Ação.

Como o simulador trabalha em tempo real, a estrutura interna do agente foi dividida em três processos concorrentes, para tornar o cliente mais eficiente e otimizar o processamento. Estes processos são apresentados pelos pontilhados na Figura 5.2.

A seguir, apresenta-se uma descrição dos módulos da arquitetura do Time UFRGS.

5.2.1.1 Interface de Entrada

A interface de entrada é o módulo responsável por gerenciar a recepção das mensagens sensoriais enviadas pelo *SoccerServer*. Sempre que uma mensagem é enviada ao agente, esse módulo se encarrega em recebê-la, decodificá-la e repassá-la para o módulo seguinte.

Como pode haver mais de uma mensagem recebida em um ciclo de simulação, existem controles internos que fazem com que as informações de entrada não sejam perdidas e possam ser processadas adequadamente.

5.2.1.2 Interface de Saída

A função da interface de saída é enviar para o simulador a ação, escolhida pelo módulo Escolha da Ação, que será executada pelo jogador em campo.

Como na interface de entrada, neste módulo também existe um mecanismo que assegura a sincronização das mensagens. O simulador aceita somente uma mensagem

do jogador a cada ciclo de simulação, sendo assim, a interface de saída faz o controle permitindo que somente a primeira mensagem no intervalo de um ciclo de simulação (100 milissegundos) seja enviada ao simulador.

5.2.1.3 Percepção do Mundo

Esse módulo é responsável por realizar o processamento (interpretação) da mensagem recebida do simulador.

O módulo de entrada reconhece o tipo da informação (por exemplo, se é um comando *see* ou um comando *hear*), mas não trata a informação recebida. As informações presentes na mensagem sobre cada objeto em campo, visível pelo agente, são armazenadas no Modelo do Mundo. O estado do jogo é atualizado a cada nova informação de percepção.

Após, o módulo Percepção do Mundo calcula os parâmetros de interesse do módulo Escolha da Ação. O resultado dos cálculos é comunicado ao módulo Escolha da Ação por meio de variáveis de controle. Essas variáveis são criadas com base no conhecimento que o jogador possui do seu ambiente e de si, e, desta forma, caracterizam-se por refletir o estado do mundo corrente do agente.

O módulo Percepção do Mundo também abriga a memória do jogador, que o permite lembrar o estado do jogo nos últimos três ciclos. Essa informação é usada quando necessária, como, por exemplo, se a bola não está visível no ciclo corrente, a última informação conhecida da bola pode ser usada, ou ainda, combinações entre as informações durante os três últimos ciclos podem verificar se um jogador (companheiro ou adversário) está se aproximando da bola.

5.2.1.4 Escolha da Ação

Nesse módulo, é construída a resposta que será dada para o simulador, produzindo uma ação.

Utilizando-se as variáveis de controle, é possível fazer ponderações de alto nível sobre o estado atual do mundo e do jogador. Pela análise dessas informações, é possível selecionar regras de comportamento que indicam como o jogador deverá agir em uma determinada situação.

Como a única saída requerida desse módulo é uma variável que contenha a ação do jogador, o programador fica livre para decidir o melhor método de escolha de sua ação. Funciona como um módulo fechado, onde são disponibilizadas as variáveis de controle e requerida uma ação como saída. O que o programador fizer internamente ao módulo não importa para os módulos restantes, proporcionando um ambiente de programação bem flexível.

No módulo de escolha da ação, utiliza-se o mecanismo de “comandos no escuro”. Uma outra ação que possa ser executada no futuro próximo e que dê continuidade à última ação escolhida pelo jogador é selecionada. Por exemplo: depois de chutar, com o objetivo de conduzir a bola, o comando mais indicado seria correr atrás da bola. Sendo assim, caso o mecanismo de “comandos no escuro” esteja ativado, na falta de informação de entrada em um dado ciclo, esse módulo envia a “ação no

escuro”, ou seja, uma ação selecionada não com base na informação visual do ciclo corrente, mais sim com base na última ação enviada pelo jogador ao simulador.

5.3 *Robocup* para Experimentação em Coordenação

Pode-se citar algumas razões que tornam o *SoccerServer* um bom ambiente de pesquisas em sistemas multiagentes, especialmente em coordenação multiagente. Entre elas:

- apresenta um ambiente distribuído complexo que requer uma eficiente coordenação de muitos agentes autônomos, de modo a fazer o possível para ganhar o jogo. Como os jogadores possuem comunicação direta limitada, uma solução distribuída é necessária;
- permite ao agente fazer ponderações em tempo de execução, entretanto o agente não deve perder muito tempo processando as informações;
- o tempo é dividido discretamente em ciclos de simulação (*default*: 100 milissegundos), o que auxilia na avaliação do comportamento do jogador, pois pode-se saber o instante no qual aconteceu certo evento;
- é um domínio que trabalha com informações incompletas e não precisas. Os agentes devem ser capazes de compensar seus erros de entrada;
- o domínio do problema é bem conhecido (futebol). Não é necessário gastar tempo explicando e entendendo um problema de um novo domínio.

O aspecto competitivo do cenário é motivador, faz com que se pense em soluções cada vez melhores para alcançar o objetivo de uma maneira mais eficiente do que a do adversário.

Tendo em vista essas razões, que são inerentes à *Robocup*, torna-se interessante especificar comportamentos de agentes, implementando-se diferentes modelos de coordenação.

5.4 Formas de Coordenação Utilizadas em Times da *Robocup*

A *Robocup* é um domínio de testes também para o estudo das questões que envolvem a coordenação multiagente. Neste contexto, um conjunto de jogadores (vistos como agentes) deve trabalhar em conjunto, a fim de fazer gols no time adversário enquanto evita gols no seu time.

Pelo estudo feito sobre alguns times participantes da *Robocup*, pôde-se observar uma evolução em relação ao aspecto da coordenação utilizada para as ações dos jogadores em campo.

Neste cenário, é difícil estabelecer *a priori* as regras de comportamento do grupo para que ocorra coordenação, devido às inúmeras possibilidades de situações de jogadas, de interações, de posicionamentos e outras.

Muitas abordagens tratam o problema de coordenação na especificação e na implementação de protocolos de alto nível (times baseados nas interações sociais humanas), contendo as ações a serem tomadas em casos particulares, por um único

agente ou pelo grupo todo. Alguns exemplos de coordenação, baseados em decisão de jogadas em situações específicas na *Robocup*, são citados a seguir:

- o trabalho de [MAT 96] trata de aprendizado de passe (ação cooperativa). Se há dois jogadores do mesmo time (um deles com a posse de bola) e um jogador do time adversário, o jogador com a posse de bola deve decidir se passa a bola para um companheiro livre ou se ele mesmo chuta a bola (avaliação da ação a ser executada). Para isso, foi utilizada uma rede neural *back-propagation* (retro-propagação), com 8 elementos de processamento na camada de entrada, 30 elementos de processamento na camada escondida e 2 elementos de processamento na camada de saída. A rede recebe como entrada as posições relativas do jogador do mesmo time que está sem a bola, do jogador adversário, do gol e da bola. Os dois valores da saída indicam as taxas de sucesso das ações: passar a bola ou chutar a bola;
- dada as habilidades individuais dos jogadores, torna-se um desafio significativo coordenar o time, já que os jogadores não estão tentando fazer a mesma coisa ao mesmo tempo. O modelo de coordenação utilizado por [STO 2000b] é o *Locker-Room Agreement*, que inclui decomposição de tarefas e atribuição dinâmica de papéis. O *Locker-Room Agreement* é responsável pela sincronização do time em períodos de baixa comunicação. Esse módulo, por meio de jogadas pré-estabelecidas armazenadas, pode realizar uma nova sincronização quando for necessário, porém, geralmente se mantém inalterado. Esse componente define a flexibilidade da estrutura do time, bem como, os protocolos de comunicação entre os agentes. O conceito de formações flexíveis presentes no *Locker-Room Agreement* consiste em papéis flexíveis, ou seja, os papéis são definidos independentemente do agente que os ocupa. Pelo fato dos agentes serem homogêneos (exceto o goleiro), eles podem mudar a sua função ao longo do tempo. Cada papel irá definir o comportamento do jogador em questão. O time do *CMUnited* apresenta diferentes formações (defensivas e ofensivas). Uma definição completa de todas as formações faz parte do *Locker-Room Agreement*. Portanto, os agentes conhecem as posições de seus companheiros. Os jogadores possuem coordenadas de áreas fixas que indicam as regiões nas quais o agente pode se mover. Entretanto, o agente possui a flexibilidade de jogar em qualquer posição. O *Locker-Room Agreement* pode ser usado para eliminar ou reduzir a necessidade de comunicação futura e também para incrementar a confiabilidade da comunicação. Os jogadores, para distinguir suas mensagens das mensagens de outro time, podem combinar um número de código com o qual todas as mensagens podem iniciar. Uma questão importante é o processo de tomada de decisão do agente quando está de posse da bola. Os agentes têm várias opções, como: passar a bola para qualquer companheiro, chutar a bola, controlar a bola, entre outras. A escolha pode afetar as opções futuras de companheiros e adversários. Utiliza árvore de decisão para avaliação do passe.

Uma outra abordagem utilizada é o uso de técnicas evolucionárias, como os algoritmos genéticos [COE 2001], para melhorar tanto as habilidades individuais quanto as de grupo.

Nas próximas seções, descreve-se as formas de coordenação usadas pelos times vencedores da *Robocup* 2000, 2001 e 2002.

5.4.1 Posicionamento Estratégico Baseado em Situação

O posicionamento estratégico baseado em situação, com posicionamento dinâmico e troca de papéis, é um modelo de coordenação usado pelo Time de Portugal (competidor da *Robocup*) [REI 2000] e [REI 2001], que venceu a competição de 2000. É uma estratégia que permite aos agentes cooperativamente seguirem uma determinada tática e formação. Antes do jogo iniciar, é realizada a definição de planos comuns flexíveis que todos os agentes conhecem, e durante o jogo são realizadas a comunicação e o raciocínio.

Este modelo usa a informação da situação para selecionar a melhor estratégia de posição para cada um dos jogadores do time. Esta estratégia de posição depende da tática e da formação corrente, do papel do jogador, de seu posicionamento na formação, e da situação corrente. Se um agente não está envolvido em uma situação ativa (situação na qual há, no mínimo, uma regra a ser disparada para um determinado agente), então ele tenta ocupar seu posicionamento estratégico, que muda de acordo com a situação do jogo. Estratégias predefinidas incluem várias táticas, formações (para situações de jogo) e o comportamento dos agentes dentro das formações. As informações sobre o jogo incluem: resultado, modo de competição, estatísticas variadas, informação de defesa e de ataque, posições, velocidade dos objetos, planos em execução, entre outras.

As posições dos agentes em modo estratégico maximizam as opções de cooperação com os agentes em modo ativo. Enquanto agentes em modo ativo usam seu conhecimento específico do domínio para decidir suas ações (mecanismo de decisão reativo), jogadores em modo estratégico preenchem as tarefas alocadas pela formação em uso. Este posicionamento estratégico baseado em situação de cada agente é uma função da tática corrente, da situação (que define a formação em uso) e do tipo de agente (que define as características estratégicas do agente).

O posicionamento dinâmico e a troca de papéis permitem aos agentes mudarem seu posicionamento ou seus papéis dentro de uma determinada tática e formação, incluindo todas as características de comportamento do agente, com o objetivo de melhorar a utilidade global do time (desempenho de um time homogêneo de agentes cooperativos). Isto ocorre entre dois agentes. Como parte da representação do estado do mundo, cada agente tem uma estimativa das posições do outro agente no campo. A cada tempo, no jogo, cada agente tem um posicionamento (lugar na formação) e um papel (características de comportamento) dentro da formação ativa corrente.

Se a utilidade para um determinado par (jogador 1, jogador 2) for positiva, então cada jogador assume a posição e o papel do outro. A função de utilidade para cada jogador está relacionada com a distância entre a posição corrente do jogador e a posição de seu posicionamento estratégico, a importância do posicionamento, os estados do agente (condições físicas, objetos carregados, outros) e as características do papel do agente. A troca de posição e de papel deve ser comunicada ao time.

Cada agente tem um posicionamento alocado dentro da formação corrente, que muda dinamicamente com a situação específica do jogo. Os posicionamentos determinam o papel do agente (papéis definidos na estratégia do time). Cada papel determina aos agentes diferentes características, como tendência a ser mais ofensivo ou defensivo, tendência a ser agressivo, entre outros. Por isso, trocar o posicionamento dentro da formação implica em trocar o papel do agente também.

5.4.2 Planejamento Distribuído com Observação Parcial

O planejamento distribuído com observação parcial é um modelo de coordenação usado pelo Time da China (competidor da *Robocup*) [YUN 2001], que venceu as competições de 2001 e 2002. É um modelo que permite aos agentes inferirem sobre os planos dos outros baseando-se em observações (sem comunicação explícita), já que em um ambiente de tempo-real, como a *Robocup*, algumas vezes a habilidade de comunicação dos agentes não é adequada e suficiente para a realização de conversações para acordos entre planos.

Este modelo de coordenação consiste do modelo de posicionamento estratégico baseado em situação, empregado pelo *FC-Portugal Team* [REI 2000], junto com o PGP (*Partial Global Planning* – planejamento global de uma perspectiva local). Para exemplificação, foi utilizado em jogadas de defesa - um jogador tem que decidir o que fazer de acordo com o seu conhecimento sobre o estado corrente do ambiente, mas o time deve manter um alto nível de consistência para criar um sólido sistema de defesa.

Segundo os autores, dois problemas principais ainda existem em relação à ação do grupo (time) como uma entidade unificada: as diferentes observações do agente (jogador) em relação ao ambiente leva a diferentes julgamentos sobre a missão corrente do time; as divergências dos esforços individuais em relação à performance do time. O PGP é utilizado com o objetivo de solucionar o segundo problema e tentar reduzir a influência do primeiro a um grau aceitável.

A essência do PGP é abstrair o conceito de utilidade global que, neste caso, pode ser considerada como a integração das influências que cada comportamento individual (utilidades individuais) causa no ambiente. Obter a utilidade global a partir de utilidades individuais é um processo de avaliação e de sintetização dos comportamentos dos agentes. Durante o procedimento de sintetização, um conjunto de operadores é introduzido para modelar o efeito da união dos comportamentos. Após a definição das utilidades individuais e global, o processo de planejamento é dividido em cinco etapas:

- *decomposição*: geração de subtarefas que podem ser executadas por um único agente;
- *geração de pares executor-subtarefa*: as subtarefas são ligadas a cada um dos agentes capazes de executá-las;
- *avaliação dos pares gerados*: algumas funções de avaliação são usadas para medir o desempenho da subtarefa, se um determinado par (executor-subtarefa) for aplicado. O valor representa a utilidade individual de um par;
- *geração de esquemas*: a seleção dos pares (conjunto de execução) é feita baseada nas funções de avaliação. O conjunto de execução inclui todas as tarefas que são exigidas para atingir a meta global;
- *atribuição de tarefas e execução*: os agentes selecionam suas próprias tarefas do conjunto de execução e as executam.

Este procedimento é similar a um planejamento centralizado, mas a diferença é que em planejamento centralizado este procedimento é executado por um único planejador, e em planejamento distribuído é executado por todos os agentes, cada agente tendo um ponto de vista diferente.

5.5 Modelos de Coordenação no Time UFRGS

A coordenação no Time UFRGS não era intencional, mas pode-se dizer que estava implícita na árvore de decisão que gerava as ações a serem executadas pelos jogadores. É uma coordenação reativa, onde o agente reage ao estado corrente do mundo, baseado em percepções.

Como exemplo, pode-se citar a cobrança de escanteio: neste caso, o jogador mais próximo é que deve cobrar o escanteio. Vários jogadores vão se aproximando da zona de cobrança, mas quando percebem, por meio da visão, que há um jogador mais próximo, eles param. É uma ação simples que leva a uma coordenação entre os jogadores.

Portanto, o Time UFRGS não possuía um modelo de coordenação explícito para seus jogadores. Assim, para realizar os experimentos, foram modelados e implementados dois modelos de coordenação: sem comunicação, utilizando pontos focais; com comunicação limitada, provida pelo servidor *SoccerServer*. Os modelos de coordenação foram aplicados em um tipo de jogada específica. Utilizou-se o código base da arquitetura do Time UFRGS, mas incorporando-se novas regras definidas no módulo de escolha de ações. Esta etapa foi apoiada pelo trabalho desenvolvido em conjunto com [SAN 2002].

5.5.1 Especificação da Jogada

A jogada escolhida envolve o ataque, com a participação de cinco jogadores: dois atacantes contra dois zagueiros e mais um goleiro do time adversário.

Essa jogada foi escolhida por se tratar de uma situação considerada crítica para o resultado do jogo, pois existe um objetivo final bem claro no caso dos atacantes, que é fazer o gol. Os jogadores terão que superar os defensores (zagueiros) que farão o possível para evitar a conclusão da jogada.

Um exemplo da situação inicial da jogada é apresentado na figura 5.3.

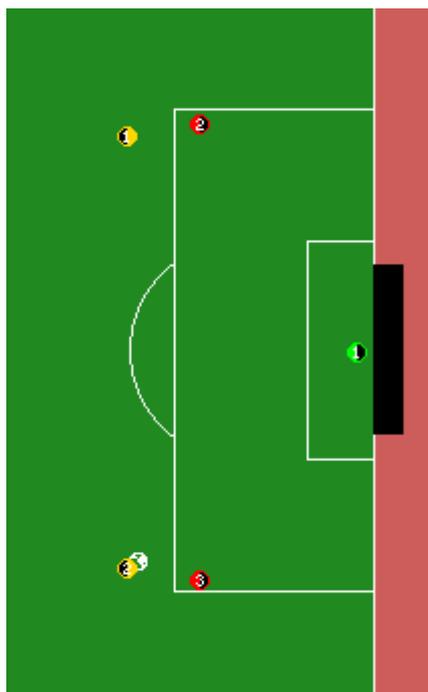


FIGURA 5.3 – Jogada de ataque

Os jogadores começarão a jogada pressupondo que eles tenham detectado no instante $t-1$ (onde t é o tempo atual) que eles devem iniciar a jogada no instante t .

Para que essa situação pudesse ser obtida no *SoccerServer*, um treinador foi inserido de forma a atuar como o juiz da partida. Tendo esse poder, ele pode fazer com que os jogadores sejam deslocados para as posições iniciais predefinidas da jogada.

O treinador, nesse caso, é um cliente especial conectado ao servidor, que pode dar ordens a todos os jogadores em campo. Sua única função é posicionar os jogadores e, após realizar esta tarefa, é desconectado do servidor. Assim, o juiz normal (interno ao *SoccerServer*) reestabelece o comando da partida.

Foram determinados dois esquemas táticos possíveis para dar prosseguimento à jogada a partir do seu estado inicial. Esses esquemas são apresentados nas figuras 5.4 e 5.5.

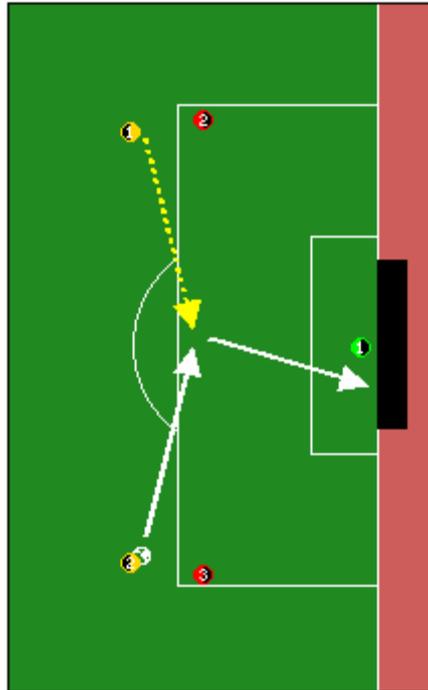


FIGURA 5.4 – Esquema tático 1

No esquema tático da figura 5.4, o jogador que está de posse da bola dá o chute inicial, lançando a bola na direção da primeira seta contínua, direto para o companheiro. Esse, por sua vez, corre no sentido da linha tracejada em direção à bola e, no momento que consegue chegar à bola, a chuta, tentando fazer o gol.

Tanto o jogador que dá o chute inicial, quanto o jogador que recebe a bola, devem desviar dos obstáculos em seu caminho, que provavelmente serão seus adversários.

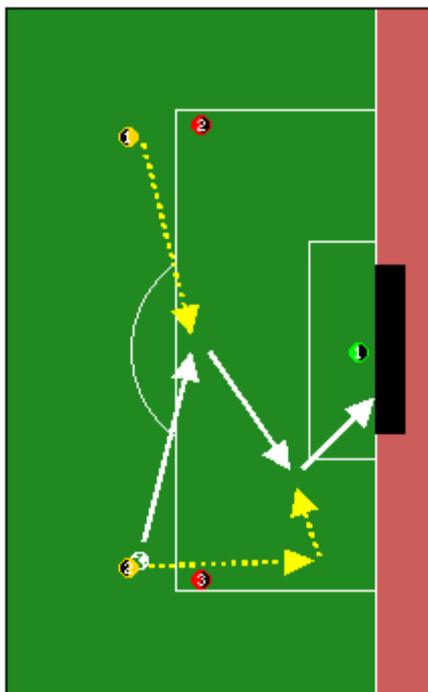


FIGURA 5.5 – Esquema tático 2

No esquema tático da figura 5.5, existe uma jogada um pouco mais complexa, mas que tem como objetivo envolver mais os jogadores. Nesse esquema tático, o jogador que está de posse da bola a passa para o seu companheiro e, logo após, tenta ir para uma posição mais privilegiada, ou seja, perto do gol, enquanto seu marcador e o marcador do seu companheiro tentam pegar a bola. O seu companheiro fará o possível para chegar antes na bola e passá-la de volta para ele, que poderá estar desmarcado e, assim, tentará fazer o gol.

5.5.2 Modelos de Coordenação Desenvolvidos

A análise do problema (*classificação*, conforme seção 4.5.1 do capítulo 4) foi realizada para a escolha dos modelos de coordenação no Time UFRGS. As respostas a cada uma das questões são apresentadas a seguir e baseiam-se apenas nas características do Time UFRGS.

1. Os agentes possuem/possuirão conhecimento das capacidades dos outros agentes ?

(X) não

() sim

Observação: pela informação visual, o jogador poderia ter uma idéia da posição de outros jogadores em campo.

2. Os agentes possuem/possuirão a capacidade de prever o estado futuro do ambiente ou do comportamento/ações dos outros agentes ?

() não

() sim, alguns agentes

sim, todos agentes

Observação: é possível o jogador observar as jogadas de outros jogadores e determinar ações futuras.

3. Os agentes são/serão capazes de adaptar-se a eventos, a situações inesperadas ou ao ambiente onde estão inseridos ?

não

sim

Observação: por meio das regras predefinidas, que determinam as ações dos jogadores, cada jogador busca executar a ação mais apropriada para a situação em questão.

4. O controle das ações dos agentes é/será:

centralizado (um agente atribui tarefas aos demais)

distribuído (cada gente decide as tarefas em função do seu conhecimento)

Observação: o treinador pode exercer um controle de ações centralizado.

5. Se existe comunicação entre os agentes, qual é/será o seu objetivo ?

solucionar um conflito, realizando negociação

trocar informações, a fim de cooperar ou colaborar

comunicar tomada de decisão de um agente para os outros agentes

não existe/existirá comunicação

Observação: a comunicação pode acontecer entre treinador e jogador e entre jogadores, a fim de, por exemplo, combinar esquemas de jogadas, comunicar tomada de decisão.

6. Em relação à rede de comunicação:

cada agente pode/poderá se comunicar com todos os outros agentes

cada agente pode/poderá se comunicar com alguns dos outros agentes

não se aplica

7. Em relação à comunicação entre os agentes:

não existe/existirá comunicação

existe/existirá um protocolo de comunicação que funciona bem

existe/existirá um protocolo de comunicação que é precário

Observação: o problema maior é quando for emitida mais de uma mensagem no mesmo ciclo, neste caso, o servidor escolhe aleatoriamente uma delas, sendo as outras perdidas. Também, devido à rede, a mensagem pode se perder; ou o jogador pode não escutar a mensagem porque está longe daquele que a enviou.

8. As atividades dos agentes levam/levarão à disputa de recursos ?

sim e existe/existirá um protocolo de negociação disponível

sim e não existe/existirá um protocolo de negociação disponível

não

Observação: os jogadores disputam a bola, mas esta é considerada um elemento do jogo.

9. Ocorrem/ocorrerão situações de conflito entre os agentes ?

não

sim, mas as situações de conflito são/serão resolvidas implicitamente

sim, mas as situações de conflito não são/serão resolvidas por uma técnica específica

Observação: um tipo de conflito que pode ocorrer são as colisões entre os jogadores do mesmo time ou com os do time adversário.

10. A troca de informações entre os agentes:

não ocorre/ocorrerá

ocorre/ocorrerá, por meio de comunicação

ocorre/ocorrerá, por meio do ambiente

11. A aplicação em questão trabalha/trabalhará com uma sociedade de agentes:

homogêneos

heterogêneos

ambos

Observação: os jogadores do time UFRGS são considerados homogêneos porque possuem o mesmo objetivo, as mesmas características e o mesmo conjunto de ações. Os valores das características dos jogadores é que podem ser diferentes.

12. O ambiente da aplicação envolve/envolverá:

dinamicidade

tempo-real

simulações

simplicidade de ações

complexidade de ações

escalonamento

outros

A partir dessas respostas e observações, justifica-se a escolha dos modelos de coordenação implementados no Time UFRGS:

- *pontos focais*: é um modelo de coordenação sem comunicação entre os agentes. Se forem consideradas as características que não envolvem comunicação, todas as respostas coincidem com as indicadas no modelo de pontos focais. Além disso, o objetivo era usar um modelo de coordenação sem comunicação para livrar-se de possíveis erros ou falhas de comunicação que poderiam ocorrer e verificar o comportamento com a coordenação deste tipo;
- *comunicação*: como há características de comunicação na *Robocup* e elas são usadas pelos times, o objetivo era usar um modelo de coordenação que utilizasse o protocolo de comunicação oferecido pelo *SoccerServer*.

Os demais modelos de coordenação, apresentados neste trabalho, não foram inicialmente escolhidos, pelos seguintes motivos: *formação de coalizão* e *GPGP* envolvem planejamento e a aplicação em questão requer respostas em tempo-real, com o ambiente variando a cada instante; *look-ahead* e *matriz de ganhos* trabalham mais sobre o conhecimento das capacidades dos agentes e previsão do estado futuro; *comunicação de avaliação* envolve comunicação que já é abordada na aplicação.

A seguir, descreve-se os modelos de coordenação implementados e que foram aplicados na jogada de ataque especificada e descrita na seção 5.5.1 do capítulo 5.

5.5.2.1 Pontos Focais

A idéia desse modelo de coordenação é fazer com que os agentes possam interagir em um ambiente, sem a necessidade de comunicação explícita entre eles, chegando a uma mesma conclusão [FEN 98].

Os pontos focais (PFs) representam pontos de convergência, fazendo com que diferentes agentes tomem a mesma decisão em relação a alguma atividade.

Algoritmos de pontos focais fornecem uma forma de escolha única, utilizando uma fórmula matemática que especifica as propriedades de raridade e de extremidade. *Raridade* refere-se ao quão raro é um objeto em relação aos outros presentes no ambiente. *Extremidade* refere-se a um elemento de destaque entre os elementos de seu domínio, como o objeto mais alto ou o mais baixo entre os que estão a sua volta.

No contexto da *Robocup*, o algoritmo de pontos focais, presente em cada jogador, será responsável por decidir o esquema tático (1 ou 2) a ser utilizado pelo jogador na jogada de ataque.

5.5.2.2 Comunicação

Ao contrário do modelo de pontos focais, a coordenação feita com base na comunicação baseia-se diretamente na troca de informações entre os agentes.

No momento que um dos agentes mandar uma mensagem para o outro, informando o esquema tático a ser iniciado, o receptor da mensagem já sabe imediatamente o que fazer.

Uma desvantagem, porém, é o custo necessário para que haja uma comunicação entre os agentes. No ambiente da *Robocup*, por exemplo, pode ser que o agente nem venha a escutar que foi enviada uma mensagem de início de esquema tático,

prejudicando, assim, a jogada. Nesse caso, deve haver um protocolo de comunicação que garanta a sincronização das mensagens.

5.6 Aspectos de Implementação

Inicialmente, realizou-se a implementação dos dois esquemas táticos da jogada de ataque, definidos na seção 5.5.1 deste capítulo. Após, foram implementados os modelos de coordenação. Utilizou-se o suporte básico que o Time UFRGS disponibiliza no módulo de escolha da ação. Neste módulo, foram implementadas todas as regras de ação que geraram os comportamentos de coordenação. Também foi utilizado o mecanismo de “comandos no escuro”, a fim de agilizar as ações do agente.

A escolha do esquema tático a ser realizado pelos agentes será o resultado da aplicação dos modelos de coordenação (pontos focais e comunicação). Esta escolha baseia-se em parâmetros de entrada, de acordo com algumas características dos esquemas táticos da jogada e dos próprios jogadores.

5.6.1 Características Envolvidas na Tomada de Decisão

As características especificadas para determinar a escolha dos esquemas táticos para os dois modelos de coordenação foram: chute de longe, marcação, individualismo, chute a gol e distância do gol adversário. Para cada característica, definiu-se um valor que corresponde à importância de tal característica para cada esquema tático da jogada de ataque, como é apresentado na tabela 5.2.

TABELA 5.2 – Características e seus valores

<i>Características</i>	<i>Valores das Características e Descrição</i>		
	1	2	3
chuta de longe	chuta bem	chuta mal	
marcação	está marcado	não está marcado	
individualismo	é individualista	não é individualista	
chute a gol	chuta bem a gol	não chuta bem a gol	
distância do gol adversário	próxima	média	longe

As características como marcação, chute a gol e distância do gol adversário são obtidas ou pelo *SoccerServer* ou por meio de cálculos feitos pelo próprio agente. As outras duas características, chute de longe e individualismo, são características do próprio jogador.

Essas características podem ser atribuídas pelo desenvolvedor dos agentes, após uma série de experimentações, onde é possível observar se o agente é um bom chutador a gol, por exemplo. Isso reforçaria uma característica daquele jogador e os seus companheiros tenderiam a levar essa característica em conta em situações como o passe para fazer o gol, aumentando as probabilidades de sucesso da jogada.

No caso desse trabalho, faz-se uma pressuposição de que um determinado jogador já possui determinada característica.

Cada uma das características terá um valor para cada esquema tático, representando a importância desta característica para o sucesso do resultado do esquema

tático. Os valores das características para os esquemas táticos são apresentados na tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Valores das características para os esquemas táticos

<i>Jogada</i>	<i>Características</i>				
	<i>chute de longe</i>	<i>marcação</i>	<i>individualismo</i>	<i>chute a gol</i>	<i>distância do gol adversário</i>
esquema tático 1	1	1	1	1	2 ou 3
esquema tático 2	2	1	2	1	1

A justificativa para o valor de cada característica para cada esquema tático é apresentada a seguir.

Chute de Longe:

- esquema tático 1: Como o jogador que irá chutar a gol irá chutar de relativamente longe, ele deve ser um bom chutador à distância;
- esquema tático 2: O chute a gol será relativamente curto, então não há necessidade de um chute muito forte, privilegiando mais a condução de bola.

Marcação:

- nos dois esquemas táticos, os jogadores estão marcados.

Individualismo:

- esquema tático 1: Esse esquema tático favorece uma jogada mais individual do jogador que vai fazer o chute a gol, sem haver uma troca maior de passes;
- esquema tático 2: O individualismo aqui não é grande, pois há uma troca de passes entre os jogadores mais de uma vez.

Chute a Gol:

- ambos os jogadores devem ter um chute a gol preciso para fazerem as finalizações, já que se trata de uma jogada de ataque.

Distância do Gol Adversário:

- esquema tático 1: A distância do gol adversário poderá ser média ou longe, pois o jogador irá chutar de longe;
- esquema tático 2: O jogador se aproxima do gol para chutar a bola de uma distância relativamente pequena.

Nesta implementação, os valores das características para cada esquema tático não são alterados. Mas seria possível criar uma função que avaliasse, em tempo de execução, o comportamento dos jogadores e alterasse dinamicamente os valores de suas características.

5.6.2 Algoritmo do Modelo de Coordenação por Pontos Focais

O algoritmo de pontos focais se baseia em calcular o valor de ponto focal para cada um dos esquemas táticos.

Haverá uma execução simultânea do algoritmo em cada um dos jogadores, tendo como entrada as características dos esquemas táticos, e como saída o esquema tático a ser executado. Para cada uma das características, calcula-se o seu valor de raridade (o

quanto a característica é rara, em relação às outras, para o esquema tático; o quanto a característica aparece em todos os esquemas táticos) e de extremidade (o quanto a característica se destaca das outras no esquema tático), segundo as seguintes fórmulas:

Raridade (esquema tático, característica) = $100 / (\text{número de esquemas táticos com o mesmo valor da característica em questão})$.

Extremidade (esquema tático, característica) = $(100 * \text{MÁXIMO}(X, Y)) / (\text{número total de esquemas táticos})$.

Onde:

X = número de esquemas táticos que têm o valor igual ou menor que o da característica em questão.

Y = número de esquemas táticos que têm o valor maior que o da característica em questão.

O valor 100 é usado para fazer a normalização dos valores calculados.

O valor de ponto focal para a jogada será o somatório dos valores de raridade e de extremidade de cada uma das características do esquema tático em questão.

Focal (esquema tático) = $\sum \text{raridade (característica)} + 0,5 * \text{extremidade (característica)}$.

É utilizado 0,5 para a extremidade porque ela tem um peso menor do que a raridade. Este valor é empírico e sugerido pelo algoritmo do modelo de coordenação por pontos focais.

A seguir, apresenta-se um exemplo de cálculo do valor de ponto focal para um esquema tático. Utilizou-se a tabela 5.3 de valores das características para os esquemas táticos e as fórmulas descritas nesta seção.

Número de características = 5

Número de esquemas táticos = 2

Calcula-se o valor de raridade para cada uma das características do esquema tático 1:

Raridade(esquema tático1, chute de longe)= $100/1=100$

Raridade(esquema tático1, marcação)= $100/2=50$

Raridade(esquema tático1, individualismo)= $100/1=100$

Raridade(esquema tático1, chute a gol)= $100/2=50$

Raridade(esquema tático1, distância do gol adversário)= $100/1=100$

Calcula-se o valor de extremidade para cada uma das características do esquema tático 1:

Extremidade(esquema tático1, chute de longe)= $(100 * \text{máximo}(1,1))/2=50$

Extremidade (esquema tático1, marcação)= $(100 * \text{máximo}(2,0))/2=100$

Extremidade (esquema tático1, individualismo)= $(100 * \text{máximo}(1,1))/2=50$

Extremidade (esquema tático1, chute a gol)= $(100 * \text{máximo}(2,0))/2=100$

Extremidade (esquema tático1, dist. gol adversário)= $(100 * \text{máximo}(2,0))/2=100$

Calcula-se o valor de ponto focal para o esquema tático 1:

$$\text{Focal}(\text{esquema tático 1})=100+50+100+50+100+0,5*(50+100+50+100+100)=600$$

De forma análoga, realiza-se os cálculos para o esquema tático 2. Sendo:

$$\text{Focal}(\text{esquema tático 2})= 100+50+100+50+100+0,5*(100+100+100+100+50)$$

$$\text{Focal}(\text{esquema tático 2})=625$$

Compara-se os valores de ponto focal dos esquemas táticos. Aquele com maior valor de ponto focal será escolhido, neste caso, o esquema tático 2.

5.6.3 Algoritmo do Modelo de Coordenação por Comunicação

Neste modelo de coordenação, a escolha do esquema tático de jogada por meio de uma comunicação não dependerá dos agentes escolherem o mesmo esquema tático, mas de um jogador escolher, de forma independente, o esquema tático e comunicar ao seu companheiro a escolha feita.

O jogador que irá decidir o esquema tático executará um algoritmo de decisão, com base na similaridade do valor de suas características com o valor das características dos esquemas táticos disponíveis.

Seria possível realizar uma comparação em relação a todos agentes envolvidos na jogada, mas, para isso, seria necessário que o jogador tomador de decisão conhecesse as características de todos os seus companheiros, o que nem sempre acontece. Por isso, optou-se pela comparação apenas com o próprio jogador, pois dessa forma o modelo de coordenação não ficaria dependente de muitas informações.

5.6.4 Processo de Escolha do Esquema Tático por Comunicação

O algoritmo escolhido baseia-se no método do vizinho mais próximo, dos sistemas de raciocínio baseado em casos [KOL 93].

Esse método permite medir o grau de similaridade entre dois casos. O algoritmo supõe que os casos são representados como um conjunto de características. Sua métrica de similaridade é simplesmente o quociente dado pela soma dos graus de similaridades entre as características que os dois casos têm em comum pelo total destas características. Uma adaptação desta medida é apresentada na equação da figura 5.6.

$$GCasam = \frac{\sum_{t=1}^{nc} w_t \times sim(c_t^E, c_t^M)}{\sum_{t=1}^{nc} w_t}$$

FIGURA 5.6 – Fórmula de similaridade

Onde w é a importância (peso) da característica t , sim é a função que mede a similaridade para os valores da característica t , C^E e C^M são os valores da característica t nos casos de entrada e na memória respectivamente e nc é o número de casos.

$GCasam$ é a similaridade ou o grau de casamento computado entre os casos E e M .

Os pesos das características, apesar de mostrados na fórmula e implementados no código dos esquemas táticos da jogada, não são utilizados na prática. Para todas as características, foi atribuído igualmente o valor 1, pois fez-se a suposição de que a alteração no resultado final não seria muito relevante, já que existem valores para cada uma das características referentes aos esquemas táticos. Havendo necessidade, os pesos podem ser facilmente atribuídos para cada uma das características.

Com os valores da característica de entrada C^E do jogador e C^M do esquema tático, é feito o cálculo da similaridade utilizando-se a função *sim*, a qual atribui valores maiores para situações nas quais os valores das características são mais similares. Após, é feita a ponderação com os pesos de cada uma das características, obtendo-se assim o valor de $GCasam$.

O esquema tático que obtiver o maior valor de $GCasam$ é o esquema tático que terá o maior grau de similaridade com as características do jogador. Logo, será o escolhido.

No caso da jogada de ataque definida, a comparação é feita a partir dos valores das características dos esquemas táticos com as do jogador.

5.6.5 Protocolo de Comunicação

Após a escolha do esquema tático, o jogador deve comunicar ao seu companheiro a escolha e, para isso, um protocolo de comunicação entre eles foi implementado. A necessidade de um protocolo foi devido à falta de certeza de que as mensagens realmente chegassem ao companheiro pelo *SoccerServer*.

O protocolo tem como base os protocolos de comunicação entre computadores ligados por uma rede. Ele possui dois lados, transmissor e receptor, e prevê uma resposta por parte do receptor. A diferença é que possui um mecanismo que identifica o início de uma jogada mesmo no caso da falta de uma confirmação de recebimento.

O algoritmo funciona da seguinte maneira, no lado do transmissor da mensagem:

- o jogador faz a escolha de um esquema tático, utilizando-se o algoritmo de similaridade do método do vizinho mais próximo (descrito na seção 5.6.4);
- é enviada uma mensagem, informando ao companheiro o esquema tático escolhido;
- se não for recebido um retorno do companheiro, repete-se o envio da mensagem de esquema tático escolhido, senão passa-se para o item a seguir;
- verifica-se a seguinte condição: foi recebida uma mensagem confirmando o recebimento da mensagem por parte do companheiro;
- caso a condição do item anterior tenha sido satisfeita, o início da execução do esquema tático é realizado, senão, repete-se o processo a partir do segundo item.

No lado do receptor, o algoritmo é o seguinte:

- se foi recebida uma mensagem com o número do esquema tático, envia-se uma resposta para o jogador informando que a mensagem foi recebida;

- se a condição do item anterior é satisfeita, então ativa-se o esquema tático informado, senão envia-se uma mensagem informando o não recebimento de mensagem.

No momento que um esquema tático é ativado, não há mais a execução do protocolo. Desse modo, não há risco de uma mensagem atrasada prejudicar o andamento do esquema tático escolhido.

O mecanismo de detecção do esquema tático recebido, porém não confirmado, no lado do transmissor, foi necessário por haver freqüentemente um recebimento da mensagem por parte do receptor e uma perda da confirmação da mesma para o transmissor.

5.7 Resultados dos Experimentos

Para que houvesse uma comprovação prática de que as suposições teóricas para os modelos de coordenação das jogadas realmente estavam corretas, foram feitas diversas simulações executando a jogada de ataque.

Quatro diferentes possibilidades ocorreram: os esquemas táticos 1 e 2 para o modelo de coordenação por pontos focais e os esquemas táticos 1 e 2 para o modelo de coordenação por comunicação. Cada combinação do modelo de coordenação com os esquemas táticos foi executada 25 vezes, totalizando um total de 100 execuções da jogada de ataque.

Os resultados obtidos são descritos a seguir.

5.7.1 Resultados do Modelo por Pontos Focais

O modelo de pontos focais com o esquema tático 1 obteve um dos melhores resultados das experimentações, pois a agilidade na decisão da escolha do algoritmo, com a agilidade característica do próprio esquema tático, resultou em uma eficiente combinação que obteve o maior número de estados finais com sucesso (o gol).

O modelo de pontos focais com o esquema tático 2 obteve uma decisão rápida para a escolha do esquema tático, porém acabou fazendo com que muitas vezes houvesse o problema do jogador que deu o chute inicial esbarrar com o jogador adversário que estava perto dele e que começava a correr em direção à bola.

Uma ilustração do problema pode ser visualizada na figura 5.7.



FIGURA 5.7 – Caminhos cruzados

Essa situação geralmente ocorria porque os dois jogadores estavam bem perto um do outro, e praticamente não tinham tempo de desviar, pois estavam com objetivos momentâneos determinados. No caso do jogador adversário, seu objetivo era seguir a bola e, no caso do outro jogador, era ir na direção da linha de fundo para aguardar o recebimento do passe pelo companheiro.

5.7.2 Resultados do Modelo por Comunicação

Como era esperado, o algoritmo por comunicação revelou a sua maior falha: o custo de uma comunicação bem-sucedida. Há o problema de não haver certeza da transmissão da mensagem ao seu destinatário.

O protocolo de comunicação havia sido inicialmente projetado no formato: envia a mensagem; aguarda a confirmação; se recebeu confirmação, executa a jogada; se não, re-envia a mensagem. Esse seria o processo mais lógico para um protocolo de comunicação no transmissor.

Existe, porém, o ruído que o simulador *SoccerServer* introduz, e isso gerou a necessidade de um mecanismo de detecção de recebimento de mensagem pelo transmissor e de falha na resposta.

Mesmo sendo um mecanismo que não é totalmente confiável, ele mostrou-se eficaz em cumprir o seu papel. Mais de 50% das vezes que o algoritmo foi testado, esse mecanismo teve que ser acionado. Em todas as execuções, ele funcionou devidamente como planejado.

Apesar do modelo de coordenação por comunicação com o esquema tático 1 não ter sido tão eficiente em termos de velocidade, quanto à execução com os pontos focais, o esquema tático 1 se mostrou igualmente eficiente em termos de conclusão da jogada com gol. O início relativamente demorado, devido ao período de comunicação entre os agentes, foi compensado pela agilidade do esquema tático da jogada.

No modelo de coordenação por comunicação com o esquema tático 2 aconteceram os mesmos problemas de cruzamento de caminhos que nos pontos focais. Porém houve o agravante de o jogador adversário estar ainda mais próximo quando o jogador principal começa a fazer sua corrida para a linha de fundo, causando problemas

para o bom andamento da jogada. O resultado foi visto na prática: essa combinação foi a que menos resultou em gols para o time atacante.

5.7.3 Comparações Gerais

A figura 5.8 apresenta o número de gols feitos em cada uma das combinações. Onde: P.F = Pontos Focais; C.C. = Com Comunicação; E.T. = Esquema Tático.

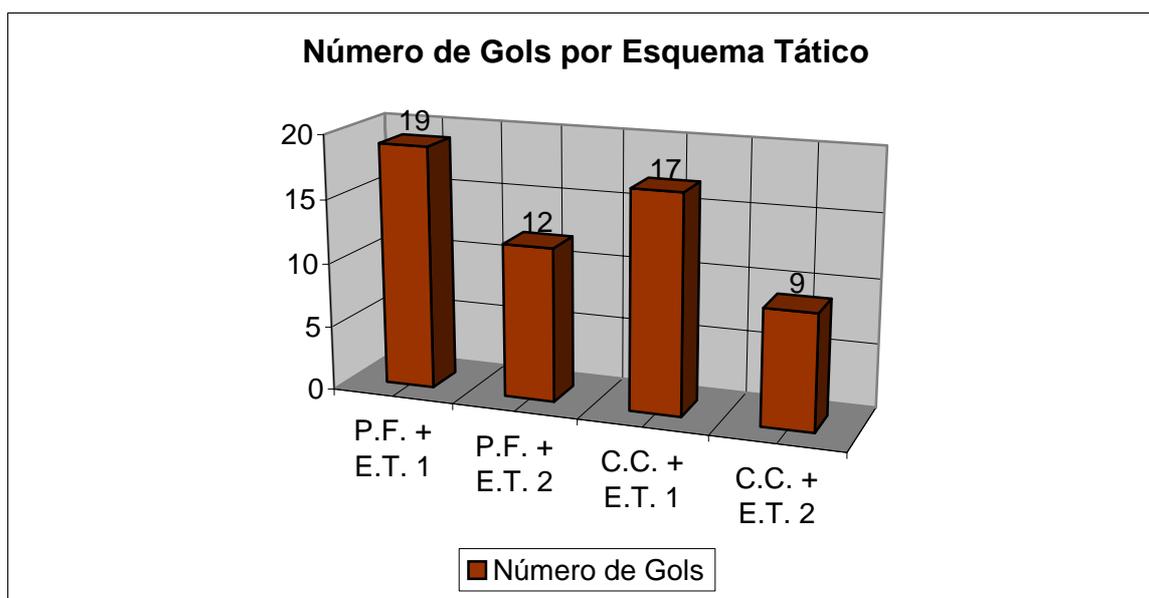


FIGURA 5.8 – Número de gols por esquema tático

Pode-se observar que a jogada de ataque que aplica o esquema tático 1 obteve mais sucesso em número de gols do que o esquema tático 2. Isso aconteceu para uma situação inicial determinada. Talvez havendo mais adversários e variando-se as posições, o número de gols marcados em cada um dos esquemas táticos pode tender a se igualar.

Mesmo assim, o resultado geral foi relativamente bom, pois foram marcados um total de 57 gols em 100 simulações. Assim, nessa situação de jogada de ataque, a probabilidade de sair um gol seria de cerca de 57%, dependendo do tipo de esquema tático escolhido.

5.8 Resultados da Avaliação *a Posteriori*

A aplicação dos critérios da avaliação *a posteriori* obteve os seguintes resultados sobre os modelos de coordenação implementados no Time UFRGS:

- *critério 1: Taxa de Qualidade dos Resultados*

(a) Para o modelo de pontos focais:

Total de simulações = 50

Resultados satisfatórios (com gol) = 31

Resultados insatisfatórios (sem gol) = 19

Taxa (resultados satisfatórios) = (resultados satisfatórios / total de simulações)*100

Taxa (resultados satisfatórios) = (31 / 50)*100 = 62%

(b) Para o modelo com comunicação:

Total de simulações = 50

Resultados satisfatórios (com gol) = 26

Resultados insatisfatórios (sem gol) = 24

Taxa (resultados satisfatórios) = (resultados satisfatórios / total de simulações)*100

Taxa (resultados satisfatórios) = (26 / 50)*100 = 52%

Neste estudo de caso, o objetivo final é o *gol*. Após realizadas várias execuções dos modelos de coordenação com os esquemas táticos, obteve-se bons resultados de finalizações com gol.

- *critério 2: Características da Tomada de Decisão pelos Agentes*

(a) Para o modelo de pontos focais:

Número total de agentes na jogada = 5

Número de agentes envolvidos na tomada de decisão em relação ao esquema tático a ser executado na jogada de ataque = 2

Conhecimento das capacidades dos outros agentes: os jogadores levam em consideração as características dos esquemas táticos predefinidos para a tomada de decisão e não precisam conhecer as capacidades/habilidades dos outros jogadores companheiros ou adversários.

Não há comunicação entre os agentes para a tomada de decisão. A tomada de decisão sobre a escolha do esquema tático a ser aplicado é realizada de modo individual, independente e ao mesmo tempo pelos jogadores envolvidos.

(b) Para o modelo com comunicação:

Número total de agentes na jogada = 5

Número de agentes envolvidos na tomada de decisão em relação ao esquema tático a ser executado na jogada de ataque = 1

Conhecimento das capacidades dos outros agentes: os jogadores levam em consideração as características dos esquemas táticos predefinidos e as suas próprias características como jogadores e não precisam conhecer as capacidades/habilidades dos outros jogadores.

Há comunicação entre os agentes apenas para informar a tomada de decisão em relação ao esquema tático, mas não durante o processo de tomada de decisão. A tomada de decisão sobre a escolha do esquema tático a ser aplicado é individual e feita apenas

pelo jogador de posse da bola. Após, este jogador comunica a decisão aos demais jogadores envolvidos na jogada

Em relação ao tempo, o modelo com comunicação demora um pouco mais na tomada de decisão do que o modelo de pontos focais, pelo fato de ter que informar ao outro jogador companheiro o esquema tático escolhido para ser executado e esperar a resposta de recebimento da mensagem. Isto ocasiona um acréscimo de tempo para o início da jogada.

- *critério 3: Características de Flexibilidade do Modelo de Coordenação*

A incorporação de novos agentes do mesmo time, nos dois modelos de coordenação, não trouxe implicações negativas nas jogadas, porque os esquemas táticos eram predefinidos, sempre com os mesmos dois jogadores participando da jogada.

Porém, a incorporação de novos agentes no time adversário trouxe algumas modificações na execução das jogadas, porque participavam da jogada.

Os testes foram realizados apenas com a inclusão de um novo agente a cada simulação.

(a) Para o modelo de pontos focais:

Para a tomada de decisão, quando da inclusão de um novo agente do mesmo time (jogador companheiro), não há alterações. Todos os agentes envolvidos na jogada tomam a decisão ao mesmo tempo, não influenciando o tempo total de tomada de decisão. Quando da inclusão de um novo agente do time adversário, também não há modificações em relação à tomada de decisão, porque este agente nem participa desta atividade.

Em relação aos conflitos, continuam sendo solucionados, quando da inclusão de um novo agente do mesmo time, por meio das ações determinadas para os jogadores. Porém, a inclusão de um novo agente do time adversário aumenta os conflitos referente às colisões entre os jogadores de diferentes times pela busca de posse da bola.

(b) Para o modelo com comunicação:

Para a tomada de decisão, também não há alterações, porque a decisão sobre o esquema tático a ser adotado é tomada apenas pelo jogador que está de posse da bola, sem levar em consideração as características dos outros jogadores. A inclusão de um novo agente do mesmo time ou do time adversário não afeta esta atividade.

O tempo de comunicação, entretanto, é afetado, porque a jogada apenas é iniciada quando os outros jogadores companheiros enviam mensagem de recebimento da resposta de tomada de decisão enviada pelo jogador de posse da bola. Com mais jogadores, o tempo de comunicação pode aumentar, retardando o início da jogada e até a execução da mesma.

Em relação aos conflitos, ocorre a mesma situação que no modelo de pontos focais.

- *critério 4: Taxa de Sucesso na Resolução de Conflitos*

Os dois modelos de coordenação implementados imbutem em seu código a característica de evitar possíveis conflitos, por meio da determinação das ações a serem executadas por cada agente, dentro dos esquemas táticos definidos. Por exemplo, se um

agente já está indo em direção à bola, o seu companheiro espera para recebê-la. Assim, conflitos que poderiam surgir entre jogadores do mesmo time eram solucionados ou evitados.

Mas, nos experimentos com os dois modelos de coordenação, houve problemas de colisão (conflito) entre um jogador e o seu adversário. O que é comum de acontecer em um jogo de futebol, já que o objetivo do jogador adversário é tomar a posse de bola.

Quando este tipo de conflito acontecia, duas situações eram verificadas: o objetivo de fazer o gol não era atingido, porque antes do jogador, que estava com a posse de bola, iniciar a jogada segundo o esquema tático escolhido, ele perdia a bola para o seu adversário; o objetivo de fazer o gol era atingido, porque o jogador que perdeu a bola para o seu adversário conseguia recuperá-la e chegava ao gol, sem utilizar um esquema tático predefinido.

(a) Para o modelo de pontos focais:

Total de simulações = 50

Total de conflitos surgidos (nos esquemas táticos 1 e 2) = 25

Conflitos resolvidos com sucesso = 12

Taxa (conflitos resolvidos) = (número de conflitos resolvidos com sucesso/total de conflitos)*100

Taxa (conflitos resolvidos) = $(12 / 25) * 100 = 48 \%$

(b) Para o modelo com comunicação:

Total de simulações = 50

Total de conflitos surgidos (nos esquemas táticos 1 e 2) = 25

Conflitos resolvidos com sucesso = 9

Taxa (conflitos resolvidos) = (número de conflitos resolvidos com sucesso/total de conflitos)*100

Taxa (conflitos resolvidos) = $(9 / 25) * 100 = 36 \%$

5.9 Considerações

Pelas características apresentadas neste capítulo e pelos resultados obtidos como estudo de caso, a *Robocup* demonstrou ser um rico ambiente de pesquisa para a realização de experimentos com sistemas multiagentes e, especificamente, como foco deste trabalho, com coordenação multiagente.

Realizou-se a *classificação* (para auxiliar na escolha dos modelos de coordenação) e a avaliação *a posteriori* (para verificar o comportamento do sistema com os modelos de coordenação utilizados) na jogada especificada para os experimentos (jogada de ataque). Decidiu-se escolher dois modelos de coordenação para serem implementados e avaliados segundo os critérios propostos, com o objetivo de melhor explorar a aplicabilidade dos mesmos, mostrando diferentes considerações sobre cada critério para cada modelo de coordenação.

Todos os resultados e considerações apresentadas, em relação aos critérios avaliados, sobre os dois modelos de coordenação desenvolvidos para o time UFRGS, mostram que o modelo de pontos focais teve um desempenho superior ao modelo por comunicação. Isto comprova que a *classificação* fornece uma indicação correta do modelo de coordenação a ser utilizado na aplicação em questão, pois a sugestão foi utilizar coordenação por pontos focais. A coordenação por comunicação foi também escolhida para ser desenvolvida para estabelecer uma comparação de resultados.

A partir dos resultados da avaliação *a posteriori*, o avaliador tem condições de detectar pontos a serem melhor trabalhados no modelo de coordenação para a aplicação em específico.

Cabe ressaltar que a avaliação depende muito da visão de cada avaliador, o que ele considera como critérios ou fatores de maior peso para a sua aplicação, e também do objetivo da aplicação. Por exemplo: para uma aplicação como controle de tráfego aéreo, um modelo de coordenação que tenha alta taxa de resolução de conflitos é essencial; para a simulação de um jogo de futebol, talvez a tomada de decisão seja um fator de peso maior do que a capacidade de comunicação direta entre os jogadores; para uma orquestra, a característica de flexibilidade do modelo de coordenação (entrada e saída de músicos) talvez tenha maior importância que a capacidade de comunicação entre os músicos.

Deste modo, as características e os critérios foram propostos com o objetivo de auxiliar e mostrar direções de que fatores levar em consideração na avaliação de um modelo de coordenação em uma aplicação.

6 Aplicação: Gerenciamento de Agendas Distribuídas

Um outro cenário possível para a aplicação de Sistemas Multiagentes é o gerenciamento de agendas distribuídas. O modelo de coordenação desta aplicação foi implementado por [SIL 2003].

Os critérios de avaliação foram aplicados sobre o cenário desenvolvido, com a execução de simulações de agendamento de compromissos, sem a realização de modificações sobre as especificações e o código fonte.

6.1 Descrição da Aplicação

O domínio da aplicação envolve resolução de conflitos de horários para o agendamento de compromissos, que podem ser pessoais ou reuniões com outros participantes, e alocação de recursos, como salas ou equipamentos para reuniões, de maneira distribuída.

Com a ferramenta desenvolvida para gerenciar agendas distribuídas é possível [SIL 2003]: gerar um calendário individual, gerenciar o tempo e as atividades do usuário, organizar as suas atividades, planejar as atividades em relação ao tempo e às preferências do usuário, coordenar-se com outras agendas para as atividades em conjunto e gerenciar eventos. Pode-se citar, como exemplos de eventos: quando uma reunião com vários participantes é marcada na agenda individual de um usuário, a própria agenda contacta as agendas dos outros participantes e tenta coordenar este evento de maneira autônoma; quando uma reunião é cancelada ou um evento associado é modificado, o módulo de coordenação da agenda propaga esta alteração para os outros participantes.

Cada agenda é representada por um agente autônomo que representa um usuário particular. O problema principal é encontrar um plano local, por meio de um consenso global, sobre as restrições distribuídas entre os vários agentes. Tais restrições referem-se às preferências do usuário, às dependências entre as atividades individuais (locais à agenda) e às exigências de coordenação, como a disponibilidade de tempo e recursos e as interações com outras agendas.

As preferências do usuário podem ser:

- *preferências temporais*: referem-se a datas, hábitos (por exemplo, não trabalhar segunda de manhã, planejar férias e feriados), tipo de atividade (por exemplo, se as reuniões de laboratório são mais importantes que as de equipe, pode-se deslocar as últimas em função das primeiras);
- *preferências contextuais*: as atividades profissionais são mais importantes que as pessoais, a hierarquia organizacional influencia as prioridades e o tempo livre;
- *preferências gerais*: o usuário pode agregar regras de preferências, informando a sua agenda como aceitar as prioridades definidas pelas atividades.

Sob a perspectiva de marcar uma reunião, o problema se resume em resolver uma coordenação temporal baseada nas preferências do usuário. Em geral, as preferências referem-se às datas disponíveis ou propostas. Assim, é calculada a distância entre o conjunto de intervalos propostos e as preferências do usuário.

Quando o usuário está conectado, uma interface gráfica fornece acesso a sua agenda. A figura 6.1 apresenta a interface da agenda.

O usuário pode livremente escolher várias operações para atualizar seu planejamento. Esta interface permite a manipulação de eventos criados pelo usuário e sua interação com o processo de planejamento e de coordenação da agenda. É possível escolher vários tipos de visualização do calendário: por dia, por semana ou por mês.

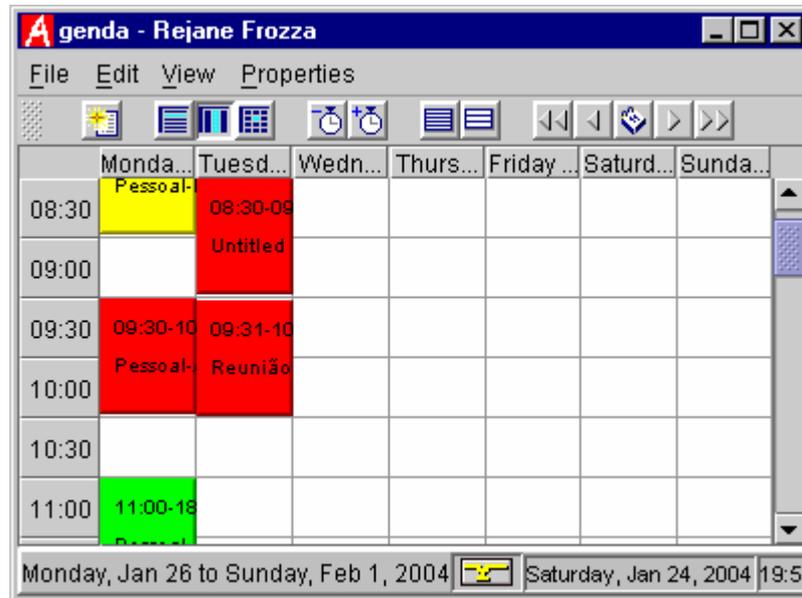


FIGURA 6.1 – Interface da agenda

6.2 Modelo de Coordenação da Aplicação

A coordenação é realizada por meio de planejamento das atividades de agendamento de compromissos (reuniões). É um planejamento distribuído, com um mecanismo de raciocínio.

A abordagem de coordenação explora a complementaridade entre as ações e os planos dos agentes. Explorando os objetivos dos outros agentes durante a marcação de uma reunião, os agentes buscam as ações que são complementares a seus próprios planos, quando eles não têm competências para realizar certos objetivos. Assim, um agente pode exercer seu poder de troca, seja para influenciar a negociação em seu favor, seja para melhorar a expectativa do grupo em relação a uma determinada atividade.

A agenda pode realizar uma coordenação em dois níveis: *nível individual* (coordena as atividades do usuário, gerenciando as interdependências entre elas), *nível social* (se coordena com outros agentes para marcar uma reunião).

O usuário pode determinar a importância e a urgência dos compromissos. A importância determina o nível do compromisso no conjunto de todos os compromissos do usuário. A urgência define o tempo de início e de fim do evento em termos de negociação. Os valores de importância e de urgência podem ser: alta (representada pela cor vermelha), normal (representada pela cor amarela), baixa (representada pela cor verde) e mínima (representada pela cor azul).

6.3 Especificação da Aplicação

A seguir, apresenta-se a especificação da agenda segundo cada componente da metodologia VOYELLES [DEM 2001].

6.3.1 Componente Agente

A coordenação entre os agentes para o agendamento de compromissos (reunião) é definida em função das dependências detectadas necessárias para a modificação de planos e em função do gerenciamento de recursos (datas em função dos recursos indisponíveis).

O agente Agenda tem o papel de assistente pessoal do usuário, manipulando eventos criados pelo usuário em relação aos parâmetros de atividades, preferências individuais e interação com outros participantes. Os eventos (reuniões, atividades, compromissos) são criados, modificados, deslocados e cancelados pelo usuário, enquanto que a agenda calcula os deslocamentos necessários para a reorganização dos compromissos e propõe modificações ao usuário. As restrições e sugestões para organizar os eventos são calculadas em função das dependências a nível individual e social. As dependências individuais são representadas pelos conflitos entre horários já ocupados. As dependências sociais são detectadas a nível dos outros agentes, quando há um objetivo comum, como, por exemplo, a marcação de uma reunião.

O usuário pode determinar: eventos individuais com a identificação do título, data, duração e recursos (como, sala e equipamentos); reuniões com outros usuários, necessitando interação e coordenação com as outras agendas.

O agente possui um mecanismo de raciocínio interno para atingir os objetivos locais e os objetivos em conjunto (compartilhado pelos participantes). É utilizada uma base de conhecimento (crenças e fatos) para representar as informações necessárias para o registro das entradas no calendário. A estrutura do agente contém um módulo de tomada de decisão para resolver conflitos e um módulo de raciocínio (com planejamento e coordenação). A arquitetura do agente foi inspirada na arquitetura PRS (*Procedural Reasoning System*) de [ING 92]. Nesta arquitetura, os desejos e as intenções do agente são representadas por uma biblioteca de planos. O módulo de raciocínio do agente é um ciclo de percepção-ação. Um plano, do conjunto de planos da biblioteca, é selecionado em função de objetivos, fatos e crenças do agente (Figura 6.2).

Os planos são preestabelecidos, específicos para o domínio da aplicação. A coordenação consiste em selecionar um conjunto de planos para representar a intenção do agente no processo de coordenação.

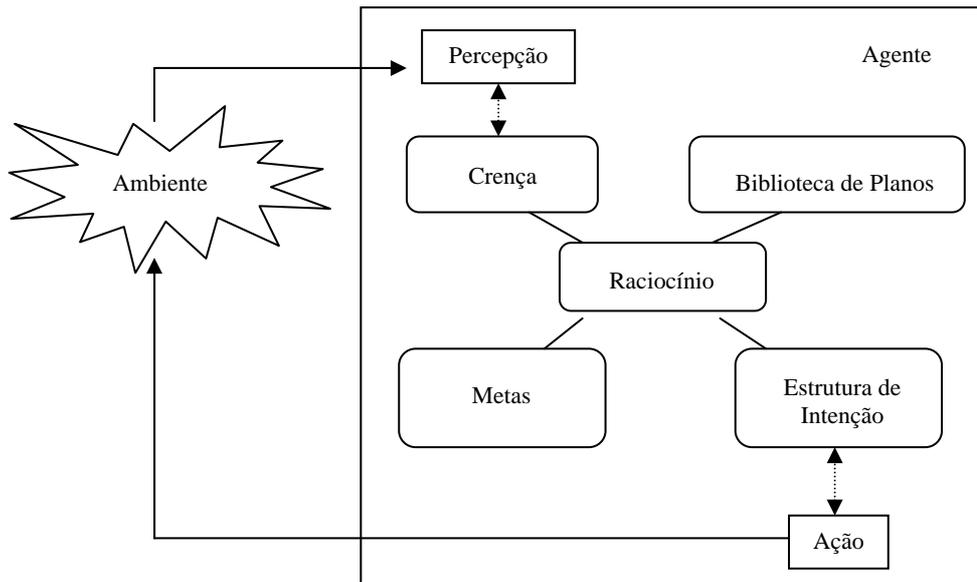


FIGURA 6.2 – Arquitetura genérica do agente PRS [ING 92]

6.3.2 Componente Interação

Este componente é responsável pelo gerenciamento dos protocolos de comunicação, escolhendo o protocolo adequado.

Segundo as restrições de dependência, o controle da interação pode utilizar protocolos distintos para diferentes tipos de troca de informações. Por exemplo, quando da conexão do agente, o controlador de interação inicia um mecanismo de coordenação para a atualização da descrição externa de cada agente por meio de uma ação do tipo coleta de informação. O gerenciamento de protocolos depende da situação do agente: situação de conexão, situação inicial de troca de informação, situação de negociação, entre outras.

O gerenciamento de protocolos é realizado por meio de um modelo de protocolos baseado na noção de micro-protocolos de [HUG 2001]. Permite uma gestão dinâmica dos protocolos utilizados segundo as necessidades do agente. Este modelo utiliza o formalismo CPDL (*Communication Protocol Description Language*) e a linguagem ACL (*Agent Communication Language*).

A aplicação utiliza o protocolo de aprendizagem cooperativa de Sian [SIA 91] para atingir um consenso. Um agente elabora uma hipótese que ele acredita ser verdadeira para enviar a um grupo de agentes associados, a fim de validar a hipótese de forma cooperativa. Cada agente avalia a hipótese em função de suas próprias crenças e, então, a confirma, a modifica ou a rejeita. Quando o grupo chega a um consenso, cada agente atualiza sua base de conhecimento com esta nova informação. Neste caso, a hipótese representa uma solicitação de reunião que deve ser aceita ou rejeitada por todos os participantes. Várias solicitações de reuniões podem estar simultaneamente em curso com diferentes grupos de agentes.

6.3.3 Componente Organização

Este componente considera as relações sociais entre os participantes para representar a hierarquia organizacional entre as atividades e as responsabilidades associadas a estas atividades, segundo os papéis desempenhados pelos agentes, que influenciam o processo de negociação. Por exemplo, uma reunião com o diretor tem maior prioridade que com um colega.

Para considerar os eventos conjuntos, como a marcação de reuniões, foram definidos dois papéis: o *Host*, que propõe uma reunião, e os *Attendees*, que são os outros agentes que participam desta reunião.

6.3.4 Componente Ambiente

O ambiente é descrito segundo dois pontos de vista: o ambiente físico, representado pela rede de computação, onde os agentes se deslocam e interagem; o nível abstrato (ou contextual), representado pelo calendário, onde os agentes agem.

O nível físico refere-se ao baixo nível da rede, modelado por meio da plataforma de comunicação *JATLite* (*Java Agent Template Lite*). Esta plataforma é constituída por um conjunto de classes Java que permitem o desenvolvimento de agentes comunicantes por meio de uma rede [JEO 2000]. Está organizado em uma hierarquia de serviços especializados que permitem: tratamento da comunicação baixo nível (TCP/IP, *sockets*, servidor); tratamento de mensagens KQML (*Knowledge Query Manipulation Language*); suporte a vários serviços de rede (SMTP, FTP, POP3, HTTP, outros).

O ambiente é representado por um grupo de agentes e a definição do calendário. O calendário representa os conflitos de ações e de recursos entre os agentes. Estas restrições são descritas pela disponibilidade temporal dos horários do calendário, que pode ser: indisponível (horário que não pode ser utilizado para negociação porque está marcado como privado nas preferências do usuário), ocupado (é um horário indisponível mas flexível, que pode ser negociado) ou livre (horário sem conflitos).

6.4 Resultados da *Classificação*

A análise do problema, *classificação* (conforme seção 4.5.1 do capítulo 4), foi realizada sobre a aplicação de gerenciamento de agendas distribuídas. As respostas a cada uma das questões são apresentadas a seguir.

Nesta aplicação, o modelo de coordenação já estava desenvolvido. Desta forma, o objetivo com a *classificação* é mostrar quais seriam as indicações sugeridas e verificar se o modelo desenvolvido corresponde ao modelo sugerido.

1. Os agentes possuem/possuirão conhecimento das capacidades dos outros agentes ?

(X) não

() sim

Observação: cada agente Agenda conhece apenas a sua estrutura e o perfil do usuário. Cada agenda é individual.

2. Os agentes possuem/possuirão a capacidade de prever o estado futuro do ambiente ou do comportamento/ações dos outros agentes ?

não

sim, alguns agentes

sim, todos agentes

Observação: as agendas são descentralizadas, uma agenda não tem conhecimento da outra.

3. Os agentes são/serão capazes de adaptar-se a eventos, a situações inesperadas ou ao ambiente onde estão inseridos ?

não

sim

Observação: por meio do conhecimento que cada agente possui do usuário e da sua agenda, ele busca executar a ação mais apropriada para a situação em questão. Esta ação refere-se à alocação de horários para compromissos.

4. O controle das ações dos agentes é/será:

centralizado (um agente atribui tarefas aos demais)

distribuído (cada gente decide as tarefas em função do seu conhecimento)

Observação: cada agente possui suas crenças, referentes às características do usuário (preferências) e da agenda (disponibilidade de horários, por exemplo).

5. Se existe comunicação entre os agentes, qual é/será o seu objetivo ?

solucionar um conflito, realizando negociação

trocar informações, a fim de cooperar ou colaborar

comunicar tomada de decisão de um agente para os outros agentes

não existe/existirá comunicação

Observação: para agendar uma reunião entre agendas, um processo de negociação é desencadeado para chegar a um consenso de dia e horário.

6. Em relação à rede de comunicação:

cada agente pode/poderá se comunicar com todos os outros agentes

cada agente pode/poderá se comunicar com alguns dos outros agentes

não se aplica

Observação: um agente Agenda se comunica com todos agentes que fazem parte de uma proposição para agendamento de um compromisso em comum.

7. Em relação à comunicação entre os agentes:

não existe/existirá comunicação

existe/existirá um protocolo de comunicação que funciona bem

existe/existirá um protocolo de comunicação que é precário

Observação: implementado utilizando a plataforma de comunicação *JATLite (Java Agent Template Lite)*.

8. As atividades dos agentes levam/levarão à disputa de recursos ?

- (X) sim e existe/existirá um protocolo de negociação disponível
- () sim e não existe/existirá um protocolo de negociação disponível
- () não

Observação: os recursos referem-se aos espaços no calendário (horários).

9. Ocorrem/ocorrerão situações de conflito entre os agentes ?

- () não
- (X) sim, mas as situações de conflito são/serão resolvidas implicitamente
- () sim, mas as situações de conflito não são/serão resolvidas por uma técnica específica

Observação: os conflitos que podem ocorrer referem-se aos horários para a marcação de reuniões. Estes conflitos são resolvidos por um processo de negociação.

10. A troca de informações entre os agentes:

- () não ocorre/ocorrerá
- (X) ocorre/ocorrerá, por meio de comunicação
- () ocorre/ocorrerá, por meio do ambiente

Observação: as agendas trocam informações sobre aceitação ou rejeição das propostas de negociação para marcação de reuniões.

11. A aplicação em questão trabalha/trabalhará com uma sociedade de agentes:

- (X) homogêneos
- () heterogêneos
- () ambos

Observação: as agendas são agentes homogêneos em estrutura e cognitivos, baseados na arquitetura PRS (*Procedural Reasoning System*).

12. O ambiente da aplicação envolve/envolverá:

- (X) dinamicidade
- () tempo-real
- (X) simulações
- () simplicidade de ações
- (X) complexidade de ações
- () escalonamento
- () outros

Observação: a dinamicidade ocorre nas interações entre as agendas. A complexidade das ações refere-se à complexidade que pode surgir na marcação de uma reunião com vários participantes.

A partir dessas respostas e observações, justifica-se a escolha do modelo de coordenação para o gerenciamento de agendas distribuídas:

- *GPGP*: é um modelo de coordenação que envolve planejamento, que pode ser centralizado ou distribuído. Para um planejamento distribuído, como é o caso da aplicação em questão, é importante que exista um protocolo de comunicação que funcione bem e um protocolo de negociação para a solução de conflitos na disputa de recursos. Considerando-se as características abordadas na *classificação*, as respostas referentes ao gerenciamento de agendas distribuídas coincidem com as indicadas para o modelo GPGP.

Os demais modelos de coordenação, apresentados neste trabalho, não foram inicialmente escolhidos, pelos seguintes motivos: *formação de coalizão* envolve planejamento, possui protocolo de comunicação e negociação, mas não foi escolhido por requerer que um agente conheça as características dos outros agentes para a formação de grupos e pelas características específicas desta aplicação, que trabalha apenas com agentes homogêneos e possui o objetivo único de resolver possíveis conflitos de horários; *look-ahead* e *matriz de ganhos* trabalham mais sobre o conhecimento das capacidades dos agentes e previsão do estado futuro; *pontos focais* é um modelo de coordenação sem comunicação e a comunicação é um item importante para a troca de informações no planejamento e na negociação; *comunicação de avaliação* envolve comunicação, mas pode não envolver disputa de recursos e, assim, não possui técnicas para resolução de possíveis conflitos.

Pode-se observar que o modelo de coordenação desenvolvido por [SIL 2003] em sua aplicação corresponde ao modelo que seria sugerido pela *classificação*. Um modelo que envolvesse planejamento, com protocolos de comunicação e negociação.

6.5 Experimentos

Foram realizadas algumas simulações sobre a aplicação de gerenciamento de agendas distribuídas para que fosse possível fazer considerações sobre o comportamento do modelo de coordenação utilizado.

A partir das simulações executadas, optou-se pela apresentação de três delas, cujas informações serão descritas a seguir. Estas três simulações abordam diferentes situações de conflito e de negociação e foram baseadas nas simulações apresentadas em [SIL 2003].

6.5.1 Primeira Simulação

Esta simulação envolveu apenas uma agenda com compromissos locais individuais e conflitos internos (entre compromissos de diferentes níveis de importância), cuja coordenação é interna, sem depender de agentes externos. Aborda a sobreposição de horários com disponibilidade de alterações (deslocamento de compromissos).

A tabela 6.1 apresenta os compromissos locais iniciais do agente Ag_{Fro} , que representa o usuário Frozza. O período disponível para o agendamento de compromissos locais e não-locais é das 8h às 19h.

TABELA 6.1 – Compromissos locais iniciais do agente Frozza

<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	segunda, 26 janeiro	13h – 19h	6h	alta
“B”	terça, 27 janeiro	8h – 13h	5h	alta
“C”	terça, 27 janeiro	13h – 15h	2h	normal
“D”	terça, 27 janeiro	16h – 17h	1h	baixa
“E”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	mínima
“F”	quarta, 28 janeiro	8h – 19h	11h	alta

As folgas na agenda Ag_{Fro} são: segunda das 8h às 13h, terça das 15h às 16h e das 17h às 18h, quinta e sexta o dia todo.

A partir da situação inicial apresentada na tabela 6.1, o Ag_{Fro} deseja acrescentar um novo compromisso local (compromisso “G”) de 2h de duração no dia 27 de janeiro, iniciando às 15h, com alta prioridade. Este novo compromisso ocasiona um conflito de horário com o compromisso local “D”, que tem uma prioridade baixa.

Neste momento, a agenda inicia a execução de um plano sobre um evento local (coordenação entre os compromissos locais). No caso de não ser encontrado um horário livre, um compromisso de menor importância pode ser deslocado para encaixar um outro de maior importância. O processo de negociação se inicia, no qual o usuário pode aceitar ou rejeitar as modificações sugeridas, por meio das mensagens enviadas comunicando as sugestões do agente.

A tabela 6.2 apresenta a agenda do usuário Frozza com um novo compromisso.

TABELA 6.2 – Compromissos locais modificados do agente Frozza

<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	segunda, 26 janeiro	13h – 19h	6h	alta
“B”	terça, 27 janeiro	8h – 13h	5h	alta
“C”	terça, 27 janeiro	13h – 15h	2h	normal
“G”	terça, 27 janeiro	15h – 17h	2h	alta
“D”	terça, 27 janeiro	17h – 18h	1h	baixa
“E”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	mínima
“F”	quarta, 28 janeiro	8h – 19h	11h	alta

Observa-se que o conflito surgido para o agendamento de um novo compromisso foi resolvido pelo deslocamento do compromisso local “D” para as 17h, já que o horário das 17h às 18h estava livre e o compromisso local “D” era de menor importância que o compromisso local “G” (novo compromisso).

6.5.2 Segunda Simulação

Esta simulação envolveu o gerenciamento de compromissos não-locais (reuniões) com conflitos locais, com quatro agendas. Os conflitos locais referem-se a problemas de horários locais do agente. Duas das agendas possuem grande intensidade de compromissos, com diferentes níveis de prioridade. Se não houver horário livre para

resolver um conflito, um compromisso de menor importância pode ser deslocado, liberando horário para uma reunião de maior importância.

Os agentes envolvidos nesta simulação são Ag_{Fro} , Ag_{Bag} , Ag_{Alv} e Ag_{Tav} , que representam respectivamente os usuários Frozza, Bagatini, Alvares e Tavares. A tabela 6.3 apresenta os compromissos iniciais dos agentes.

TABELA 6.3 – Compromissos iniciais dos agentes Ag_{Fro} , Ag_{Bag} , Ag_{Alv} e Ag_{Tav}

<i>Agenda Frozza</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	terça, 27 janeiro	9h – 10h	1h	normal
“B”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“R Ag_{Bag} ”	terça, 27 janeiro	12h – 13h	1h	baixa
“C”	terça, 27 janeiro	14h – 18h	4h	alta
“D”	quarta, 28 janeiro	8h – 11h	3h	normal
“E”	quarta, 28 janeiro	12h – 14h	2h	alta
“F”	quarta, 28 janeiro	14h – 18h	4h	normal
“G”	quinta, 29 janeiro	9h – 19h	10h	alta
<i>Agenda Bagatini</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	segunda, 26 janeiro	13h – 19h	6h	alta
“B”	terça, 27 janeiro	8h – 10h	2h	alta
“C”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“R Ag_{Fro} ”	terça, 27 janeiro	12h – 13h	1h	baixa
“D”	terça, 27 janeiro	15h – 17h	2h	normal
“R Ag_{Tav} ”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	mínima
“E”	quarta, 28 janeiro	8h – 19h	11h	alta
<i>Agenda Alvares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“B”	quinta, 29 janeiro	9h – 12h	3h	alta
<i>Agenda Tavares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	terça, 27 janeiro	15h – 16h	1h	baixa
“R Ag_{Bag} ”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	mínima

A partir da situação inicial apresentada na tabela 6.3, o Ag_{Alv} começa uma interação com o Ag_{Fro} para marcar uma reunião (compromisso “R”) de 2h de duração no dia 27 de janeiro, iniciando às 12h, com prioridade e urgência altas. Este novo compromisso ocasiona um conflito de horário com o compromisso não-local “R Ag_{Bag} ” do Ag_{Fro} , que tem uma prioridade baixa.

Neste momento, a agenda inicia a execução de planos sobre um evento não-local, verificando as dependências entre o solicitante da reunião e os participantes no processo de coordenação. Assim, a agenda Ag_{Fro} encontra um compromisso a ser deslocado (o compromisso “R Ag_{Bag} ”) e interage com seu usuário, informando a proposta de reunião “R” e o deslocamento do compromisso “R Ag_{Bag} ”, para que aceite ou rejeite.

Se o usuário Frozza aceitar a proposta, um novo processo de negociação se inicia entre o Ag_{Fro} e o Ag_{Bag} , para deslocamento de compromisso. A proposta é deslocar o compromisso “R Ag_{Bag} ” para o mesmo dia, 27 de janeiro, iniciando às 18h. Como o Ag_{Bag} tem compromisso com o Ag_{Tav} neste mesmo horário, inicia-se um outro processo de negociação entre estes dois agentes, para o deslocamento deste compromisso de importância mínima para o mesmo dia, 27 de janeiro, iniciando às 17h.

Todos os deslocamentos foram aceitos, em função da proposta inicial de reunião do Ag_{Alv} . A tabela 6.4 apresenta as agendas com as modificações.

TABELA 6.4 – Compromissos modificados dos agentes Ag_{Fro} , Ag_{Bag} , Ag_{Alv} e Ag_{Tav}

<i>Agenda Frozza</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	terça, 27 janeiro	9h – 10h	1h	normal
“B”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“R Ag_{Alv} ”	terça, 27 janeiro	12h – 14h	2h	alta
“R Ag_{Bag} ”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	baixa
“C”	terça, 27 janeiro	14h – 18h	4h	alta
“D”	quarta, 28 janeiro	8h – 11h	3h	normal
“E”	quarta, 28 janeiro	12h – 14h	2h	alta
“F”	quarta, 28 janeiro	14h – 18h	4h	normal
“G”	quinta, 29 janeiro	9h – 19h	10h	alta
<i>Agenda Bagatini</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	segunda, 26 janeiro	13h – 19h	6h	alta
“B”	terça, 27 janeiro	8h – 10h	2h	alta
“C”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“R Ag_{Fro} ”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	baixa
“D”	terça, 27 janeiro	15h – 17h	2h	normal
“R Ag_{Tav} ”	terça, 27 janeiro	17h – 18h	1h	mínima
“E”	quarta, 28 janeiro	8h – 19h	11h	alta
<i>Agenda Alvares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“R Ag_{Fro} ”	terça, 27 janeiro	12h – 14h	2h	alta
“B”	quinta, 29 janeiro	9h – 12h	3h	alta
<i>Agenda Tavares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“A”	terça, 27 janeiro	15h – 16h	1h	baixa
“R Ag_{Bag} ”	terça, 27 janeiro	17h – 18h	1h	mínima

As mensagens trocadas entre agentes e entre agentes e usuários durante um processo de negociação envolvem mensagens de propostas de novos compromissos, de deslocamentos de compromissos, de cancelamento de compromissos, de aceitação ou rejeição de propostas.

Nesta simulação, as mensagens trocadas foram:

- Ag_{Alv} envia proposta de novo compromisso (reunião) para Ag_{Fro} ;

- Ag_{Fro} envia proposta de deslocamento de compromisso para Ag_{Bag} ;
- Ag_{Bag} envia proposta de deslocamento de compromisso para Ag_{Tav} ;
- Ag_{Tav} confirma deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} ;
- Ag_{Bag} concorda com deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Tav} ;
- Ag_{Tav} aceita deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} ;
- Ag_{Bag} confirma deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Fro} ;
- Ag_{Fro} concorda com deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} ;
- Ag_{Bag} aceita deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Fro} ;
- Ag_{Fro} confirma novo compromisso e envia para Ag_{Alv} ;
- Ag_{Alv} concorda com novo compromisso e envia para Ag_{Fro} ;
- Ag_{Fro} aceita novo compromisso e envia para Ag_{Alv} .

A mensagem de “confirma” acontece quando a agenda, a partir da proposta recebida, verifica o novo horário na sua agenda e, então confirma a alteração ou envia uma nova proposta.

A mensagem de “concorda com” acontece quando a agenda recebe uma mensagem de “confirma” e concorda ou não com a alteração feita pela agenda ou com o novo compromisso.

A mensagem de “aceita/rejeita” acontece após o recebimento da mensagem de “concorda com” para o usuário da agenda aceitar ou rejeitar a alteração ou o novo compromisso.

O mecanismo de raciocínio interno do agente e o mecanismo de interação garantem a sincronização das transações tratadas de forma descentralizada pelo protocolo de negociação.

6.5.3 Terceira Simulação

Esta simulação envolveu o gerenciamento de compromissos não-locais (reuniões) com conflitos globais, com 4 agendas. Os conflitos globais referem-se a problemas de horários com outros participantes. Neste caso, o processo de coordenação considera as preferências do usuário e seu *status* na hierarquia organizacional. A agenda procede da mesma maneira para os compromissos pessoais, em função da noção de coordenação interna. Se um compromisso com maior prioridade não tem horário livre, os lugares ocupados e menos importantes serão verificados e deslocados, conforme o resultado da pesquisa.

Os agentes envolvidos nesta simulação são Ag_{Fro} , Ag_{Bag} , Ag_{Alv} e Ag_{Tav} , que representam respectivamente os usuários Frozza, Bagatini, Alvares e Tavares. A tabela 6.5 apresenta os compromissos iniciais dos agentes. O horário das 12h às 13h está indisponível para todas as agendas.

A partir da situação inicial apresentada na tabela 6.5, o Ag_{Alv} começa uma interação com o Ag_{Fro} para marcar uma reunião (compromisso “R”) de 2h de duração no dia 29 de janeiro, iniciando às 8h, com prioridade e urgência altas. Este novo

compromisso ocasiona um conflito de horário com o compromisso não-local “Grupo(3)” do Ag_{Fro} com os agentes Ag_{Bag} e Ag_{Tav} , que tem uma prioridade normal.

TABELA 6.5 – Compromissos iniciais dos agentes Ag_{Alv} , Ag_{Tav} , Ag_{Bag} e Ag_{Fro}

<i>Agenda Alvares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	terça, 27 janeiro	16h – 18h	2h	alta
“B”	quarta, 28 janeiro	08h – 12h	4h	mínima
“C”	quarta, 28 janeiro	13h – 16h	3h	alta
“D”	quarta, 28 janeiro	17h – 19h	2h	mínima
“E”	quinta, 29 janeiro	11h – 12h	1h	alta
“F”	quinta, 29 janeiro	13h – 19h	6h	alta
<i>Agenda Tavares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	terça, 27 janeiro	16h – 19h	3h	alta
“B”	quarta, 28 janeiro	8h – 12h	4h	baixa
“Grupo(3)”	quinta, 29 janeiro	9h – 12h	3h	normal
“C”	quinta, 29 janeiro	13h – 19h	6h	alta
<i>Agenda Bagatini</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	quarta, 28 janeiro	8h – 12h	4h	baixa
“Grupo(3)”	quinta, 29 janeiro	9h – 12h	3h	normal
<i>Agenda Frozza</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	terça, 27 janeiro	15h – 18h	3h	alta
“B”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	baixa
“C”	quarta, 28 janeiro	8h – 12h	4h	alta
“D”	quarta, 28 janeiro	13h – 16h	3h	alta
“Grupo(3)”	quinta, 29 janeiro	9h – 12h	3h	normal

O Ag_{Alv} tem um *status* mais elevado que os agentes Ag_{Bag} e Ag_{Tav} na estrutura organizacional. Isto ocasiona pedido de alteração do compromisso “Grupo(3)” do Ag_{Fro} para o agente Ag_{Bag} .

Neste momento, o agente Ag_{Bag} renegocia com os agentes Ag_{Fro} e Ag_{Tav} um deslocamento do compromisso para o mesmo dia, 29 de janeiro, iniciando às 13h. O agente Ag_{Fro} confirma, mas o agente Ag_{Tav} está com um compromisso de alta prioridade iniciando neste horário (novo conflito). Então, o agente Ag_{Bag} faz uma nova proposta de deslocamento, considerando os horários livres na sua agenda, para o dia 28 de janeiro, iniciando às 16h. Os agentes Ag_{Fro} e Ag_{Tav} aceitam a proposta. Neste processo de negociação, as mensagens trocadas foram:

- Ag_{Bag} envia proposta de deslocamento de compromisso (reunião) para Ag_{Fro} e Ag_{Tav} ;
- Ag_{Fro} confirma deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} ;

- Ag_{Tav} não concorda com deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} ;
- Ag_{Bag} envia nova proposta de deslocamento de compromisso (reunião) para Ag_{Fro} e Ag_{Tav} ;
- Ag_{Fro} confirma deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} ;
- Ag_{Tav} confirma deslocamento de compromisso e envia para Ag_{Bag} .

Com o consenso, os agentes aceitam a nova proposta de deslocamento e modificam as agendas. Assim, o agente Ag_{Fro} confirma o novo compromisso “R” com o agente Ag_{Alv} . Neste caso, as mensagens trocadas foram:

- Ag_{Fro} confirma novo compromisso e envia para Ag_{Alv} ;
- Ag_{Alv} concorda com novo compromisso e envia para Ag_{Fro} ;
- Ag_{Fro} aceita novo compromisso e envia para Ag_{Alv} .

A tabela 6.6 apresenta as agendas com as modificações.

TABELA 6.6 – Compromissos modificados - Ag_{Alv} , Ag_{Tav} , Ag_{Bag} e Ag_{Fro}

<i>Agenda Alvares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	terça, 27 janeiro	16h – 18h	2h	alta
“B”	quarta, 28 janeiro	08h – 12h	4h	mínima
“C”	quarta, 28 janeiro	13h – 16h	3h	alta
“D”	quarta, 28 janeiro	17h – 19h	2h	mínima
“R”	quinta, 29 janeiro	8h – 10h	2h	alta
“E”	quinta, 29 janeiro	11h – 12h	1h	alta
“F”	quinta, 29 janeiro	13h – 19h	6h	alta
<i>Agenda Tavares</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	terça, 27 janeiro	16h – 19h	3h	alta
“B”	quarta, 28 janeiro	8h – 12h	4h	baixa
“C”	quinta, 29 janeiro	13h – 19h	6h	alta
“Grupo(3)”	quinta, 28 janeiro	16h – 19h	3h	normal
<i>Agenda Bagatini</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	quarta, 28 janeiro	8h – 12h	4h	baixa
“Grupo(3)”	quinta, 28 janeiro	16h – 19h	3h	normal
<i>Agenda Frozza</i>				
<i>Compromisso</i>	<i>Data</i>	<i>Hora Inicial - Final</i>	<i>Duração</i>	<i>Prioridade</i>
“Grupo(4)”	terça, 27 janeiro	10h – 12h	2h	alta
“A”	terça, 27 janeiro	15h – 18h	3h	alta
“B”	terça, 27 janeiro	18h – 19h	1h	baixa
“C”	quarta, 28 janeiro	8h – 12h	4h	alta
“D”	quarta, 28 janeiro	13h – 16h	3h	alta
“Grupo(3)”	quinta, 28 janeiro	16h – 19h	3h	normal
“R”	quinta, 29 janeiro	8h – 10h	2h	alta

6.6 Resultados da Avaliação *a Posteriori*

Como a aplicação de gerenciamento de agendas distribuídas tem um modelo de coordenação implementado (planejamento distribuído), o objetivo com a avaliação *a posteriori* não é realizar comparações de resultados entre diferentes modelos de coordenação (como foi possível com a aplicação *Robocup*, descrita no capítulo 5), mas apresentar considerações sobre o modelo escolhido para a aplicação em questão.

A seguir, apresentam-se os comentários para cada critério da avaliação *a posteriori*:

- *critério 1: Taxa de Qualidade dos Resultados*

Nesta aplicação, o objetivo é o agente Agenda conseguir alocar horários para compromissos (locais e não-locais). Resolvendo-se os problemas de conflitos (colisões de horários em diferentes compromissos e com diferentes participantes) que podem surgir, por meio de deslocamentos e realocações, o objetivo será atingido com sucesso.

Portanto, para este estudo de caso, um resultado é considerado satisfatório sempre que os conflitos forem resolvidos. Nas simulações apresentadas na seção 6.5 do capítulo 6, todos os conflitos ocasionados foram resolvidos pelo deslocamento de horários de compromissos, levando a bons resultados, já que todos os agentes participantes aceitavam as alterações dentro de suas disponibilidades de horários.

Podem ocorrer situações nas quais os agentes Agenda não consigam chegar a um consenso sobre o horário de um compromisso e este ser cancelado. No caso de compromisso cancelado, considera-se como um resultado insatisfatório.

O interessante é realizar um número maior de simulações com diferentes usuários alocando seus compromissos locais e, após, iniciar a alocação de compromissos não-locais, analisando os diferentes conflitos e as soluções dos agentes.

- *critério 2: Características da Tomada de Decisão pelos Agentes*

O número total de agentes Agenda pode ser variável. As simulações apresentadas trabalharam com um e quatro agentes respectivamente. Quanto maior o número de agendas em execução e compromissos comuns entre elas, maior poderá ser a complexidade para a resolução dos conflitos. Isto pode gerar uma carga de comunicação/troca de informações alta.

O número de agentes envolvidos no processo de tomada de decisão em relação à marcação, cancelamento ou alteração de compromissos depende do número de agentes que têm um compromisso em comum que precisa sofrer alguma alteração (todos estes participam da decisão).

Conhecimento das capacidades dos outros agentes: as agendas são descentralizadas, cada agente Agenda conhece apenas a sua estrutura e as preferências do usuário.

A tomada de decisão envolve planejamento e processo de negociação. Por exemplo, quando um agente Agenda faz uma proposta, segue um plano. Se todas as atividades do plano forem realizadas, o objetivo foi atingido. Quando ocorrem os conflitos, cada agente Agenda segue os seus planos, tentando chegar a um consenso.

Os processos de coordenação e negociação envolvem comunicação entre os agentes para a tomada de decisão. A troca de mensagens ocorre durante o processo de

negociação entre as agendas e entre as agendas e os seus usuários. O número de mensagens trocadas dependerá da carga de solicitações de compromissos, dos conflitos de horários para o agendamento de compromissos e do número de agentes envolvidos em cada compromisso. Alguns exemplos de troca de mensagens foram apresentados nas descrições das simulações (seção 6.5 do capítulo 6).

Em relação ao tempo, se o processo de negociação requerer uma urgência alta, as mensagens para a resolução de conflitos são trocadas em questões de segundos. Mas o processo de negociação também pode não ser imediato, quando tiver uma urgência baixa, por exemplo, podendo demorar mais tempo para se chegar a um consenso.

- *critério 3: Características de Flexibilidade do Modelo de Coordenação*

É possível incorporar ou reduzir o número de agendas em execução, sem prejudicar o objetivo de agendamento de compromissos.

O agendamento de compromissos, com resultado satisfatório ou insatisfatório, dependerá da complexidade da agenda, como carga de horários indisponíveis, horários com compromissos locais de alta prioridade, horários com compromissos não-locais de alta prioridade e solicitações de reuniões envolvendo vários participantes. A alta prioridade para os compromissos não permite que o agente efetue deslocamentos destes compromissos e isso pode levar a dificuldades na resolução de conflitos de colisões de horários.

Para a tomada de decisão, quanto maior o número de agendas envolvidas em um processo de negociação, maior será o número de mensagens trocadas e o tempo de comunicação entre os agentes até a marcação de um novo compromisso e/ou a resolução de possíveis conflitos.

Em relação aos conflitos, continuam sendo solucionados, dentro das disponibilidades de cada agenda. Mas os conflitos tendem a ser de maior número com agendas de maior complexidade, o que pode ocasionar um número maior de resultados insatisfatórios (compromissos cancelados).

- *critério 4: Taxa de Sucesso na Resolução de Conflitos*

Para as simulações executadas, a coordenação por planejamento distribuído se mostrou eficaz para a resolução de conflitos. Os agentes Agenda tentam chegar a um consenso por meio da execução de seus planos e de seu mecanismo de raciocínio interno.

Os conflitos tratados referem-se apenas a colisões de horários. Um conflito não será resolvido quando as agendas envolvidas no compromisso não chegarem a um consenso de horário.

Nas simulações apresentadas na seção 6.5 do capítulo 6, todos os conflitos surgidos foram resolvidos com sucesso. Isso pode não acontecer, quando conflitos envolvendo vários participantes, com suas agendas apresentando alta carga de compromissos, forem simulados.

6.7 Considerações

Esta aplicação de gerenciamento de agendas distribuídas possui características bem diferentes da *Robocup*, permitindo a realização de experimentos com novos dados, tornando interessante os resultados da avaliação.

Realizou-se a *classificação* (neste caso para confirmar a indicação fornecida por ela em relação ao modelo de coordenação já implementado na aplicação) e a avaliação *a posteriori* (para verificar o comportamento da aplicação com o modelo de coordenação utilizado) sobre o agendamento de compromissos.

Os comentários apresentados sobre cada critério da avaliação *a posteriori*, em relação ao gerenciamento de agendas, podem representar um comportamento adequado ou não do modelo de coordenação sob diferentes pontos de vista.

O objetivo não é gerar comparações para mostrar que um modelo de coordenação é melhor que o outro, porque isso pode depender das características do domínio e das necessidades levantadas pelo projetista/desenvolvedor do sistema para a sua aplicação. A idéia é permitir uma análise sobre as questões que envolvem e devem ser observadas na coordenação de agentes.

7 Conclusão

A busca de sistemas com comportamento satisfatório, combinado com a natureza complexa da interação de agentes, justifica a necessidade de utilização e de desenvolvimento de mecanismos de coordenação para as atividades dos agentes em um ambiente multiagente. Em alguns casos, por exemplo, os agentes necessitarão ser adaptativos devido à tendência no desenvolvimento de sistemas abertos, nos quais as habilidades dos agentes e os recursos disponíveis mudam de forma dinâmica; em outros, um agente deverá ser capaz de decidir se realiza uma tarefa sozinho ou coordena-se com outros agentes para executar tarefas coletivamente.

Este trabalho abordou aspectos que influenciam as atividades dos agentes em sociedade, ressaltando a questão da *coordenação*. A coordenação tem sido abordada em diversas aplicações, pois, quando bem aplicada, contribui para uma execução eficiente das atividades dos agentes, sendo um ponto importante a ser analisado. Foram apresentados estudos e pesquisas sobre mecanismos de coordenação e algumas aplicações relacionadas.

Foi possível observar, com os estudos realizados, que a coordenação já é algo implícito nas atividades humanas. E quando estas atividades são simuladas computacionalmente ou quando os sistemas devem fornecer resultados para serem aplicados em situações reais, o aspecto de coordenação influencia o processo dos agentes na busca dos objetivos.

Quando se pensa na aplicação da coordenação em um sistema de agentes, muitas dificuldades ainda aparecem, no sentido de especificar o que é necessário para que ela ocorra de maneira proveitosa. Isto envolve a decisão de que mecanismo de coordenação utilizar, em função dos agentes, do domínio e dos objetivos propostos; que agentes devem coordenar-se, considerando suas atividades; e a resolução de outras questões envolvidas como custo de troca de informações entre agentes e conflitos que podem surgir.

Na literatura da área, foram encontrados poucos trabalhos sobre o tema de avaliação da coordenação multiagente. Os trabalhos referenciados (Jong [JON 99], Barber [BAH 2000], Durfee [DUR 2001] e Excelente-Toledo [EXC 2002]) foram descritos na seção 4.3. Eles apresentam limitações (apresentadas na seção 4.3.5) e não têm uma proposta de avaliação geral para ser utilizada em vários modelos de coordenação.

Considera-se, neste trabalho, a avaliação da coordenação multiagente como foco principal de estudo, e procura-se fornecer direções de como ela pode ser realizada. Em relação à problemática de como escolher um mecanismo de coordenação mais adequado para o problema em questão e de como avaliar o comportamento deste mecanismo, a solução proposta aborda dois aspectos: a realização de uma análise do problema (*classificação*) e de uma avaliação *a posteriori*. O esquema geral da proposta deste trabalho para avaliação de coordenação multiagente e sua descrição detalhada foram apresentados nas seções 4.4 e 4.5.

A seguir, apresentam-se algumas considerações acerca da necessidade e das vantagens de realizar-se uma avaliação da coordenação multiagente:

- a necessidade de coordenação de ações entre agentes aumenta cada vez mais, uma vez que os agentes precisam compartilhar recursos e conhecimento para realizar seus objetivos, além de outros aspectos. Desta forma, realizar uma análise *a priori* que forneça indicativos que auxiliem na escolha de modelos adequados de coordenação, em função das características do problema em questão, contribui para uma coordenação possivelmente mais eficiente;
- a complexidade da coordenação pode não ser tão visível quando se pensa nela como algo isolado em um sistema. Deve-se levar em consideração, entretanto, que a coordenação pode estar relacionada com cooperação e colaboração entre os agentes, com a resolução de conflitos que podem ocorrer, com a troca de informações necessárias, entre outros aspectos. Assim, realizar uma avaliação *a posteriori* permite identificar o comportamento do sistema como um todo em relação ao modelo de coordenação utilizado pelos agentes.

Uma importante contribuição do presente trabalho é a definição de um conjunto de critérios capaz de auxiliar a tarefa de avaliação da coordenação multiagente. As principais contribuições são relacionadas a seguir:

- a apresentação e análise de casos práticos que utilizam modelos de coordenação, mostrando que cada aplicação resolve, de forma específica, seu problema de coordenação. A análise dos modelos de coordenação estudados resultou em um quadro comparativo a partir de um conjunto de características definidas. A comparação realizada contribuiu no sentido de levantar características que podem ser aplicadas para avaliar a coordenação em sistemas multiagentes;
- a apresentação de novas idéias para a realização da avaliação da coordenação, complementando os poucos trabalhos existentes, os quais possuem limitações;
- a proposta deste trabalho aborda dois momentos no processo de coordenação: um antes da escolha do modelo de coordenação (análise do problema em questão) e outro sobre o modelo de coordenação desenvolvido (avaliação *a posteriori*). A análise do problema aborda dois pontos (as características e capacidades dos agentes e as características da aplicação). Para cada momento, um conjunto de critérios foi relacionado. Com exceção do trabalho de Durfee, que separa os critérios em três dimensões, os outros autores não categorizam os critérios e apenas os utilizam para uma avaliação sobre o modelo de coordenação desenvolvido. A presente proposta expande a noção de avaliação em dois momentos, o que enriquece e reforça o uso de modelos de coordenação, de maneira adequada, para a solução de problemas de coordenação dos agentes;
- a análise do problema em questão (*classificação*) e a avaliação *a posteriori* podem ser facilmente integradas no ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas, como apresentado na seção 4.6.2. Desta forma, é possível acompanhar a questão da coordenação desde a etapa de projeto de *software* e sistema (na qual a *classificação* está inserida) até a etapa de integração e teste do sistema (na qual a avaliação *a posteriori* está inserida), o que auxilia na qualidade do desenvolvimento de um sistema multiagente com coordenação;
- os modelos de coordenação, apresentados na seção 3.2, podem ser vistos como exemplos de utilização dos mecanismos de coordenação, descritos na seção 3.1. Este trabalho apresenta, inclusive, a relação entre mecanismos e modelos, na seção 3.4, o que permite expandir a utilização dos critérios propostos para outros modelos não

abordados neste trabalho, mas que provavelmente terão relação com algum(uns) do(s) mecanismo(s) de coordenação;

- existem vários critérios que podem ser considerados para avaliação de coordenação multiagente, como visto nos trabalhos relacionados, e também outros critérios que poderiam ser adaptados da área de engenharia de *software*. Os critérios para esta proposta foram escolhidos a partir do estudo de casos práticos que envolviam problemas de coordenação a serem resolvidos por um modelo de coordenação. O objetivo era propor critérios que considerassem características importantes da coordenação, características que, na prática, influenciam a coordenação. Os critérios usados pela *classificação* foram pensados a partir da idéia de fazer uma comparação dos diferentes modelos de coordenação (seção 3.3). Os critérios usados na avaliação *a posteriori* foram pensados a partir do que seria interessante levar em consideração para avaliar o comportamento da coordenação;
- o uso da abordagem GQM (*Goal Question Metric*) para a definição e a descrição dos critérios da avaliação *a posteriori*, que mostra como uma avaliação pode ser realizada a partir de critérios e como podem ser aplicados, considerando-se os objetivos da avaliação;
- a proposta de avaliação é voltada ao projetista/desenvolvedor de um sistema multiagente com coordenação. Portanto, é para uso de um avaliador externo, o qual pode considerar critérios de maior ou menor peso para a sua aplicação. Isso permite que a abordagem seja mais geral para a utilização de critérios, mesmo que nem todos critérios se adaptem a todas aplicações;
- desenvolvimento de modelos de coordenação para os jogadores de um time de futebol (Time UFRGS), usando o simulador *SoccerServer* da *Robocup*, como uma contribuição para o trabalho de Bagatini [BAG 2001].

Outro ponto a destacar é a aplicação dos critérios de avaliação propostos em dois estudos de caso. A partir disso, foi possível constatar que os critérios abordam algumas das características que devem ser levadas em consideração na coordenação multiagente, além de mostrar a aplicabilidade da *classificação* e da avaliação *a posteriori*. Um estudo de caso foi no domínio da *Robocup*, apresentando a implementação de dois modelos de coordenação em um ambiente de grande dinamicidade e desafios, com experimentos no Time UFRGS. Uma segunda aplicação, o gerenciamento de agendas distribuídas, também foi utilizada como estudo de caso, mostrando diferentes aspectos da avaliação. Desta forma, foi possível obter-se uma idéia melhor dos resultados que podem ser obtidos pelo uso dos critérios.

A proposta de avaliação apresentada possui algumas limitações referentes ao uso de apenas seis modelos de coordenação para auxiliar na escolha de um mais adequado ao problema em questão, e à definição de um conjunto de critérios que poderia ser expandido. As limitações justificam-se pela dificuldade em dois aspectos: a coordenação e a avaliação. A coordenação pode ser entendida e abordada de diferentes formas, e cada autor define e propõe uma diferente solução de coordenação. A avaliação é um processo, muitas vezes, subjetivo e não existe uma única proposta a ser seguida. Portanto, é considerada como um desafio, pela dificuldade em saber o que é importante e válido avaliar, em como definir critérios para realizar a avaliação e em como mostrar os resultados.

Os artigos já publicados, abordando o tema de avaliação de coordenação multiagente desenvolvido neste trabalho, podem ser encontrados em [FRO 2001], [FRO 2002a] e [FRO 2002b].

Toda pesquisa desenvolvida sempre pode apresentar continuidade, com novas idéias e estudos. Para a proposta de avaliação de coordenação multiagente, apresentada neste trabalho, alguns trabalhos futuros são identificados:

- desenvolver um sistema de raciocínio baseado em casos, com uma base de casos de modelos de coordenação, como sugerido na seção 4.5.1, que utilize, por exemplo, o método do vizinho mais próximo para medir o grau de similaridade entre casos. As características de cada caso são os critérios definidos na *classificação* (previdência, adaptabilidade, controle das ações, comunicação, conflitos, troca de informações, tipo da sociedade de agentes e ambiente da aplicação). O sistema apresentaria como resultado o modelo de coordenação com os valores das características mais similares aos valores das características do problema considerado. Assim, seria possível automatizar a etapa de *classificação*;
- atribuir pesos aos critérios. Em um sistema de raciocínio baseado em caso, cada característica pertencente ao caso pode receber um valor diferente (*peso*), que se refere ao grau de importância da característica para uma situação específica. As características de maior peso exercem uma maior influência sobre a decisão. O projetista pode, em função da sua aplicação, determinar diferentes pesos para os critérios e analisar os modelos de coordenação sugeridos pela *classificação*;
- pesquisar e analisar novos trabalhos publicados em relação ao modelo de coordenação utilizado. Se for um modelo de coordenação diferente, agregá-lo aos modelos apresentados neste trabalho. Novos modelos de coordenação poderiam fazer parte da base de modelos de coordenação do sistema de raciocínio baseado em casos sugerido. O número de casos da base aumentaria, refinando a escolha de um modelo de coordenação mais adequado às características de um problema específico;
- a partir dos estudos realizados de outros modelos de coordenação, propor novos critérios e agregá-los aos já definidos, expandindo a proposta de avaliação deste trabalho;
- reunir vários estudos de casos, com diferentes características e objetivos, e utilizar a *classificação* e a avaliação *a posteriori* para enriquecer as experiências e comprovar a eficiência de sua aplicabilidade;
- propor um ciclo que envolva as etapas de *classificação* e de avaliação *a posteriori*, no qual o resultado da avaliação *a posteriori* influencie a análise realizada na *classificação*.

Referências

- [AND 2002] ANDRADE, L.F. ; FIADEIRO, J.L. ; GOUVEIA, J. ; KOUTSOUKOS, G. ; WERMELINGER, M. Coordination for Orchestration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COORDINATION MODELS AND LANGUAGES, COORDINATION, 5., 2002. **Proceedings...** York:Springer-Verlag, 2002. p. 5-13.
- [AXE 80] AXELROD, Robert. **The Evolution of Cooperation**. New York: Basic Books, 1980.
- [BAE 98] BAEIJS, Christof. **Fonctionnalité Emergente dans une Société d'Agents Autonomes**. 1998. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique (INPG), Grenoble.
- [BAG 2001] BAGATINI, Daniela D. S. **Um Sistema Multiagente para o Simulador Soccerserver**. 2001, 149p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) –Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [BAH 2000] BARBER, K.S. ; HAN, D.C. ; LIU, T.H. Coordinating Distributed Decision Making using Reusable Interaction Specifications. In: PACIFIC RIM INTERNATIONAL WORKSHOP ON MULTI-AGENTS: DESIGN AND APPLICATIONS OF INTELLIGENT AGENTS, PRIMA, 3., 2000. **Proceedings...** London: Springer-Verlag, 2000. p. 1-15.
- [BAS 94] BASILI, V.R. et al. **Goal Question Metric Paradigm**. In: Encyclopedia of Software Engineering. [S.l.]: Willey & Sons, 1994. p. 528-532.
- [BIA 2001] BIANCHI, Alessandro et al. Towards Distributed GQM. In: WORKSHOP ON EMPIRICAL STUDIES OF SOFTWARE MAINTENANCE, 7., 2001. **Proceedings...** Florence: IEEE Computer Society, 2001.
- [BOU 99a] BOUTILIER, Craig. Sequential Optimality and Coordination in Multiagent Systems. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IJCAI, 1999. **Proceedings...** Disponível em: < <http://www.cs.ubc.ca/spider/cebly/papers/seqcoord.ps> >. Acesso em: 17 ago.1999.
- [CAL 2003] CALLANTINE, Todd J. Air traffic controller agents. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS, AAMAS, 2., 2003. **Proceedings...** Melbourne: ACM Press, 2003. p.952-953.

- [CHA 2003] CHALKIADOKIS, Georgios; BOUTILIER, Craig. Coordination in multiagent reinforcement learning: a bayesian approach. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS, AAMAS, 2., 2003. **Proceedings...** Melbourne: ACM Press, 2003. p.709-716.
- [CIA 2000] CIANCARINI, Paolo; OMICINI, Andréa; ZAMBONELLI, Franco. Multiagent System Engineering: the Coordination Viewpoint. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON AGENT THEORIES, ARCHITECTURES AND LANGUAGES, ATAL, 6., 2000. **Proceedings...** Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 250-259.
- [COE 2001] COELHO, André L.V.; WEIGAERTNER, Daniel; GOMIDE, Fernando. Evolving Coordination Strategies in Simulated Robot Soccer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 5., 2001. **Proceedings...** Montreal: ACM Press, 2001.
- [CON 2002] CONTRERA, Wildney Feres; SOLANO, Nelson. **Avaliação e Monitoramento** (Capítulo VIII). Disponível em : <http://www.aids.gov.br/prevencao/man_diretriz/capitulo_8.htm>. Acesso em: 08 jul. 2002.
- [DAV 83] DAVIS, Randall; SMITH Reid G. Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v. 20, n.1, p.63-109, 1983.
- [DEC 92] DECKER, Keith S.; LESSER, Victor R. Generalizing the partial global planning algorithm. **International Journal on Intelligent Cooperative Information Systems**, [S.l.],v.1, n.2, p.319-346, 1992.
- [DEC 95a] DECKER, K.S. **Environment centered analysis and design of coordination mechanisms**. 1995. PhD. Thesis. University of Massachusetts, Computer Science Department, Amherst.
- [DEC 95b] DECKER, K.S. TAEMS: A framework for analysis and design of coordination mechanisms. In: FOUNDATIONS OF DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1995. **Proceedings...** New York: Wiley Inter-science, 1995. Chapter 16.
- [DEC 97] DECKER, Keith; PANNU, Ananddeep; SYCARA, Katia; WILLIAMSON Mike. Designing behaviors for information agents. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, AGENTS, 1., 1997. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1997. p. 404-412.
- [DEC 98] DECKER, Keith S.; LESSER, Victor R. Designing a Family of Coordination Algorithms. In: HUHNS, Michael N.; SINGH, Munindar P. (Ed.). **Readings in Agents**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998. p.450-457.

- [DEM 90] DEMAZEAU, Yves; MULLER, Jean-Pierre. Decentralized artificial intelligence. In: DEMAZEAU, Yves; MULLER, Jean-Pierre. (Ed.). **Decentralized A.I.** Amsterdam: Elsevier Science, 1990. p.3-14.
- [DEM 91a] DEMAZEAU, Yves. Coordination Patterns in Multi-Agent Worlds: Applications to Computer Vision and Robotics. In: IEE COLLOQUIUM ON INTELLIGENT AGENTS, 1991. **Proceedings...** London:[s.n.], 1991.
- [DEM 91b] DEMAZEAU, Yves; MÜLLER, Jean-Pierre. From Reactive to Intentional Agents. In: DEMAZEAU, Yves; MULLER, Jean-Pierre (Ed.). **Decentralized A.I. 2.** Amsterdam: Elsevier Science, 1991.
- [DEM 93] DEMAZEAU, Yves. La Plate-Forme PACO e ses Applications. In: JOURNÉE NATIONALE DU PRC-IA SUR LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS, 2., 1993. **Actes...** Montpellier: [s.n.], 1993.
- [DEM 2001] DEMAZEAU, Yves. **VOYELLES:** Habilitation à Diriger des Recherches. 2001. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique (INPG), Grenoble.
- [DRO 91] DROGOUL, Alexis. From Animals to Animats. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SIMULATION OF ADAPTIVE BEHAVIOR, 1., 1991. **Proceedings...** [S.l.]: MIT Press, 1991.
- [DRO 92] DROGOUL, Alexis; DUBREUIL, Christophe. Eco-Problem-Solving Model: Results of the N-Puzzle. In: WERNER, Eric; DEMAZEAU, Yves (Ed.). **Decentralized A.I. 3.** Amsterdam: Elsevier Science, 1992.
- [DRO 93] DROGOUL, Alexis. **De La Simulation Multi-Agents à La Résolution Collective de Problèmes.** 1993. Thèse de doctorat. Institut Blaise Pascal, Paris.
- [DUR 91] DURFEE, E. H.; LESSER, V. R. Partial global planning: A coordination framework for distributed hypothesis formation. **IEEE Transactions on Systems, Management and Cybernetics**, Piscataway, v.21, n.5, p.1167-1183, 1991.
- [DUR 94] DURFEE, Edmund H.; ROSENSCHEIN, Jeffrey S. Distributed Problem Solving and Multi-Agent Systems: Comparisons and Examples. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1994. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1994.
- [DUR 2001] DURFEE, Edmund H. Scaling up Agent Coordination Strategies. In : COMPUTER – INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR COMPUTER PROFESSIONALS. **Intelligent Agents**, Michigan, v.34, n. 7, p.39-46, 2001.
- [EXC 2002] EXCELENTE-TOLEDO, C. B.; JENNINGS, N. R. Learning to select a coordination mechanism. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTI-AGENT SYSTEMS, AAMAS, 1., 2002, **Proceedings...** Bologna: ACM Press, 2002. p.1106-1113.

- [FEN 98] FENSTER, Maier; KRAUS, Sarit. Coordination Without Communication: Experimental Validation of Focal Point Techniques. In: HUHNS, Michael N.; SINGH, Munindar P. (Ed.). **Readings in Agents**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998. p. 380-386.
- [FER 95] FERBER, Jacques. **Les Systèmes Multi-Agents** (Vers une intelligence collective). Paris:InterEditions, 1995. p. 421-486.
- [FER 98] FERRAND, N.; DEMAZEAU, Yves; BAEIJS, C. Systèmes Multi-Agents Réactifs et Résolution de Problèmes Spatialisés. **Revue de L'Intelligence Artificielle**, Montpellier, v. 12, n.1, p. 37-72, 1998.
- [FRO 2001] FROZZA, R.; ALVARES, L. O. C. Análise de Coordenação em Ambientes Multiagentes. In. ENCONTRO NACIONAL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, ENIA; CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, SBC, 2001. **Anais...** Ceará: SBC, 2001.
- [FRO 2002a] FROZZA, R.; ALVARES, L. O. C. Criteria for the Analysis of Coordination in Multi-Agent Applications. In: COORDINATION MODELS AND LANGUAGES, COORDINATION, 5., 2002. **Proceedings...** York: Springer-Verlag, 2002. p. 158-165. (Lecture Notes in Computer Science, v.2315).
- [FRO 2002b] FROZZA, R.; DEMAZEAU, Y.; ALVARES, L. O. C.; GAUDÉ, P. Evaluation of Multi-Agent Systems: Observations from Interactive Games. In: WORKSHOP ON MULTI-AGENT SYSTEMS, IBERAGENTS, 4., 2002. **Proceedings...** Málaga: [s.n.], 2002.
- [FUD 95] FUDENBERG, D.; TIROLE. J. **Game Theory**. [S.l.]: MIT Press, 1995. 579p.
- [GMY 95] GMYRASIEWICZ, Piotr J.; DURFEE, E.H. A rigorous, operational formalization of recursive modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS, ICMAS, 1., 1995. **Proceedings...** San Francisco: MIT Press, 1995.
- [GOD 95a] GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à Pesquisa Qualitativa e suas Possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n.2, p.57-63, mar./abr. 1995.
- [GOD 95b] GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa Qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v.35, n.3, p.20-29, maio/jun.1995.
- [GOL 99] GOLDBERG, Dani; MATARIC, Maja. Coordinating Mobile Robot Group Behavior Using a Model of Interaction Dynamics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, AGENTS, 3., 1999. **Proceedings...** Seattle: ACM Press, 1999. p. 100-107.

- [HUG 2001] HUGET, Marc-Philippe. **Une ingénierie des protocoles d'interaction pour les systèmes multi-agents**. 2001. Thèse de doctorat. Université de Paris IX – Dauphiné, Paris.
- [HUH 99] HUHNS, Michael N. ; STEPHENS, Larry M. Multiagent Systems and Societies of Agents. Multiagent Systems. In: WEISS, Gerhard (Ed.). **A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. London: MIT Press, 1999. p. 79-120.
- [IEZ 85] IEZI, Gelson; MURAKAMI, Carlos. **Fundamentos de Matemática Elementar – Conjuntos e Funções**. São Paulo: Atual, 1985.
- [ING 92] INGRAND, F.F.; GEORGEFF, Michael P.; RAO, Anand S. An Architecture for Real-Time Reasoning and System Control. **IEEE Expert**, Los Alamitos, v.7, n.6, 1992.
- [JEN 93b] JENNINGS, N. R. Commitments and Conventions: The Foundation of Coordination in Multi-Agent Systems. **The Knowledge Engineering Review**, UK., v.8, n.3, p. 223-250, 1993.
- [JEN 96] JENNINGS, Nick R. Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence. In: O'HARE, G.M.P.; JENNINGS, N.R. (Ed.). **Foundations of Distributed Artificial Intelligence**. [S.l]: John Wiley & Sons, 1996. p.187-210.
- [JEO 2000] JEON, Heecheol; PETRIE, Charles; CUTKOSKY, Mark R. JATLite: A Java Agent Infrastructure with Message Routing. **IEEE Internet Computing**, Stanford, v.4, n.2, p. 87-96, 2000.
- [JON 97] JONG, Edwin de. Multi-Agent Coordination by Communication of Evaluations. In: EUROPEAN WORKSHOP MODELING AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD, MAAMAW, 8., 1997. **Proceedings...** Berlin: Springer Verlag, 1997.
- [JON 99] JONG, Edwin de. **Coordination Developed by Learning from Evaluations**. Berlin: Springer-Verlag, 1999. p. 234-245. Lecture Notes in Artificial Intelligence.
- [KOL 93] KOLODNER, Janet. **Case-Based Reasoning**. Califórnia: Morgan Kaufmann, 1993.
- [KUW 95] KUWABARA, K.; ISHIDA, T.; OSATO, N. AgentTalk: Coordination protocol description for multi-agent system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS, ICMAS, 1., 1995. **Proceedings...** San Francisco: MIT Press, 1995. p.455.
- [LAB 93] LABIDI, S.; LEJOUAD, W. **De L'Intelligence Artificielle Distribuée aux Systèmes Multi-Agents**. Sophia Antipolis: Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), 1993. 39p. (Rapport de Recherche, RR-2004).

- [LES 98] LESSER, Victor R. Reflections on the Nature of Multi-Agent Coordination and Its Implications for an Agent Architecture. In: JENNINGS, N.; SYCARA, K.; GEORGEFF, M. (Ed.). **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**. Boston: Kluwer Academic, 1998. p.89-111.
- [LIU 98] LIU, Jyi-Shane; SYCARA, Katia P. Multiagent Coordination in Tightly Coupled Task Scheduling.. In: HUHNS, Michael N.; SINGH, Munindar P. (Ed.). **Readings in Agents**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998. p. 164-171.
- [LIU 2000] LIU, Rey-Long; LIN, Szu-YIN. Adaptative Coordination of Agents for Timely and Resource-Bounded Information Monitoring. In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIAGENT SYSTEMS, ICMAS, 4., 2000. **Proceedings...** Boston: IEEE Computer Society, 2000. p. 175–182.
- [LUC 57] LUCE, R.D.; RAIFA, H. **Games and Decisions: Introduction and Critical Survey**. Dover: John Wiley & Sons, 1957.
- [MAC 88] MACHADO, Antônio dos Santos. **Matemática – Temas e Metas – Conjuntos Numéricos e Funções**. São Paulo: Atual, 1988.
- [MAC 96] MACIEL, Paulo Romero Martins; LINS, Rafael Dueire; CUNHA, Paulo Roberto Freire. **Introdução às redes de petri e aplicações**. Campinas: UNICAMP, 1996. 200p.
- [MAC 2002] MACIEL, Cristiano; COSTA, Renata; SILVA, Rodrigo Leite da. Critérios de Avaliação para Portfólios Eletrônicos. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 7., 2002. **Proceedings...** Santos: SENAC de Ciências Exatas e Tecnologia, 2002.
- [MAE 93] MAES, Pattie. Behavior-Based Artificial Intelligence. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SIMULATION OF ADAPTIVE BEHAVIOR, 2., 1993. **Proceedings...** Cambridge: MIT Press, 1993. p. 2-10.
- [MAL 94] MALONE, Thomas W.; CROWSTON, Kevin. The Interdisciplinary Study of Co-ordination. **ACM Computing Surveys**, New York, v.26, n.1., p. 87-119, Mar. 1994.
- [MAR 92] MARTIAL, F. Von. **Coordinating Plans of Autonomous Agents**. Berlin:Springer-Verlag, 1992. 246p. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v.610).

- [MAT 96] MATSUBARA, Hitoshi; NODA, Itsuki; HIRAKI, Kazuo. Learning of Cooperative actions in multi-agent systems: a case study of pass in soccer. In: SPRING SYMPOSIUM ON ADAPTATION, COEVOLUTION AND LEARNING IN MULTI-AGENT SYSTEMS, AAAI, 1996, Portland, Oregon. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 1996. p.63-67. Disponível em: <<http://citeseer.nj.nec.com/matsubara96learning.html>>. Acesso em: 07 fev. 2001.
- [MOD 2000] MODI, Pragnesh Jay ; SHEN, Wei-Min. Learning Team Coordination Constraints through Execution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIAGENT SYSTEMS, ICMAS, 4., 2000. **Proceedings...** Boston: IEEE Computer Society, 2000. p. 417-426.
- [NAG 97] NAGENDRA, M.; LESSER, V. The use of meta-level information in learning situation-specific coordination. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IJCAI, 15., 1997. **Proceedings...** Nagoya: AAAI Press, 1997. p. 640-646.
- [NOD 96] NODA, Itsuki; MATSUBARA, Hitoshi. SoccerServer and Researches on Multi-Agent Systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS - Workshop on Robocup, IROS, 1996, Osaka, Japan. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 1996. p.1-7. Disponível em: <<http://citeseer.nj.nec.com/noda96soccer.html>>. Acesso em: 07 fev. 2001.
- [NOH 97] NOH, Sanguk; GMYRASIEWICZ, Piotr J. Multiagent Coordination in Antiair Defense: A Case Study. In: EUROPEAN WORKSHOP MODELING AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD, MAAMAW, 8., 1997. **Proceedings...** Berlin: Springer Verlag, 1997. p. 4-16.
- [NWA 96] Nwana, Hyacinth; JENNINGS, Nick. Coordination in Software Agent Systems. **British Telecom Technology Journal**, [S.l.], v.14, n.4, p.79-88, 1996.
- [OSA 92] OSAWA, Ei-Ichi; TOKORO, Mario. Collaborative Plan Construction for Multiagent Mutual Planning. In: WERNER, Eric; DEMAZEAU, Yves (Ed.). **Decentralized A.I. 3**. Amsterdam: Elsevier Science, 1992. p. 169-187.
- [OSS 95] OSSOWSKI, Sascha; SERRANO, Ana García. A Knowledge-Level Model of Coordination. In: AUSTRALIAN WORKSHOP ON DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1., 1995. **Proceedings...** Berlin: Springer-Verlag, 1995. p. 46-57 (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v.1087).
- [OSS 99] OSSOWSKI, Sasha. **Co-ordination in Artificial Agent Societies** (Social Structure and Its Implications for Autonomous Problem-Solving Agents). Berlin:Springer-Verlag, 1999. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v.1535).

- [PET 2001] PETERS, James F.; PEDRYCZ, Witold. **Engenharia de Software: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- [REI 98] REISIG, Wolfgang; ROZENBERG, Grzegorz. **Lectures on petri nets: advances in petri nets**. Berlin: Springer Verlag, 1998. (Lecture Notes in Computer Science, v. 1491).
- [REI 2000] REIS, Luis Paulo; LAU, Nuno; LOPES, Luis Seabra. **FC Portugal Team Description Paper: RoboCup 2000 Qualifying**. Disponível em: <<http://www.ieeta.pt/robocup/documents/FCPortugalTeamDescription.ps.zip>>. Acesso em: 30 ago. 2003.
- [REI 2001] REIS, Luis Paulo; LAU, Nuno; OLIVEIRA, Eugénio C. **Situation Based Strategic Positioning for Coordinating a Team of Homogeneous Agents**. Berlin: Springer-Verlag, 2001. p. 175-197. (Lecture Notes in Computer Science, v. 2103).
- [ROY 93] ROY, Bernard; BOUYSSOU, Denis. **Aide Multicritère à la décision: Méthodes et Cas**. Paris: Economica, 1993.
- [SAN 2002] SANTOS, Irineu Júnior Pinheiro dos. **Uma Aplicação de Coordenação Multiagente Utilizando a Robocup**. 2002. Trabalho de Diplomação (Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [SEN 94] SEN, Sandip; SEKARAN, Mahendra; HALE, John. Learning to coordinate without sharing information. In: NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 12., 1994. **Proceedings...** Seattle:[s.n.], 1994. p. 426-431.
- [SHE 97] SHEHORY, Onn M.; SYCARA, Katia; JHA, Somesh. Multi-Agent Coordination Through Coalition Formation. In: INTELLIGENT AGENTS, AGENT THEORIES, ARCHITECTURES AND LANGUAGES, ATAL, 4., 1997. **Proceedings...** Rhode Island: Springer-Verlag, 1997. p.143-154 (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v.1365).
- [SHO 92] SHOHAM, Y.; TENNENHOLTZ, M. Emergent conventions in multi-agent systems: initial experimental results and observations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRINCIPLES OF KNOWLEDGE REPRESENTATION AND REASONING, 3., 1992. **Proceedings...** Cambridge: Morgan Kauffmann, 1992. p. 225-231.
- [SHO 95] SHOHAM, Yoav; TENNENHOLTZ, Moshe. On Social Laws for Artificial Agent Societies: Off-Line Design. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v.73, n.12, p. 231-252, 1995.
- [SIA 91] SIAN, S.S. Adaption Based on Cooperative Learning in Multi-Agent Systems. In: DEMAZEAU, Yves; MULLER, Jean-Pierre (Ed.). **Decentralized A.I. 2**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. p. 257-272.

- [SIC 95] SICHMAN, Jaime Simão. **Du Raisonnement Social Chez les Agents** (Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance). 1995. 282p. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique (INPG), Grenoble.
- [SIL 2003] SILVA, João Luis Tavares da. **Programmation Orientée Multi-Agents: Coordination dans les Systèmes Multi-Agents Voyelles**. 2003. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble.
- [SMI 88] SMITH, Reid.G. The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. In: BOND, A.H.; GASSER, L. (Ed.). **Readings in Distributed Artificial Intelligence**. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1988. p. 357-366.
- [SOM 2001] SOMMERVILLE, Ian. **Software Engineering**. England: Addison-Wesley, 2001.
- [STE 90] STEELS, Luc. Cooperating Between Distributed Agents Through Self-Organisation. In: DEMAZEAU, Yves; MULLER, Jean-Pierre. (Ed.). **Decentralized A.I.** Amsterdam: Elsevier Science, 1990.
- [STE 91] STEELS, Luc. Towards a Theory of Emergent Functionality. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SIMULATION OF ADAPTIVE BEHAVIOR, 1., 1991. **Proceedings...** Cambridge: MIT Press, 1991.
- [STO 2000b] STONE, Peter; RILEY, Patrick; VELOSO, Manuela. The CMUnited-99 Champion Simulator Team. In: ROBOCUP: ROBOT SOCCER WORLD CUP, 3., 1999, Melbourne, Australia. **Proceedings...** Berlin: Springer Verlag, 2000. Disponível em: <<http://www.research.att.com/~pstone/Papers/99springer/simulator/champ99.ps.gz>>. Acesso em: 07 fev. 2001.
- [TAM 99] TAMBE, Milind; ADIBI, Jafar; YASER, Al-Onaizan, ERDEM, Ali; KAMINKA, Gal A.; MARSELLA, Stancy C.; MUSLEA, Ion. Building agent teams using an explicit teamwork and leaning. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v.110, n.3, p.215-239, June 1999.
- [WER 96b] WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996. (Ferramentas da Qualidade, v.2).
- [WHA 2002] **WHAT is Evaluation ?** Disponível em : <<http://www.wmich.edu/evalctr/WhatisEvaluation.html>>. Acesso em: 04 jul. 2002.
- [YUN 2001] YUNPENG, Cai ; JIANG, Chen ; JINYI, Yao ; SHI, Li. **Global Planning from Local Eyeshot: an Implementation of observation-based Plan Coordination in Robocup Simulation Games**. Berlin , 2001. Disponível em : <http://www.lits.tsinghua.edu.cn/robocup/RoboCup/Docs/Tsinghuaeolus_de_fense.ps>. Acesso em: 14 jun. 2003.

Obras Consultadas

- [BER 95] BERON, Frédéric; CARPUAT, Bernard et al. La résolution de conflit sans négociation: modèle et évaluation. In: JOURNÉES FRANCOPHONES SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DISTRIBUÉE ET LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS, 3., 1995. **Annales...** Chambéry-St. Badolph: Hermès, 1995. p. 267-278.
- [BON 88] BOND, Alan H.; GASSER, Les. An Analysis of Problems and Research in DAI. In: BOND, Alan H.; GASSER, Les (Ed.). **Readings in Distributed Artificial Intelligence**. San Mateo, Califórnia: Morgan Kaufman, 1988. p. 3-35.
- [BOU 92] BOURON, T. **Structures de communication et d'organisation pour la coopération dans un univers multi-agents**. 1992. Thèse de doctorat. Université Paris 6, Paris.
- [BOU 99b] BOUTILIER, Craig. Planning. Learning and Coordination in Multiagent Decision Processes. In: CONFERENCE ON THEORETICAL ASPECTS OF RATIONALITY AND KNOWLEDGE, 6., 1996. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.cs.ubc.ca/spider/cebly/papers/tark96.ps>>. Acesso em: 17 ago.1999.
- [BRA 88] BRATMAN, Michael E.; ISRAEL, David J.; POLLACK, Martha E. Plans and Resource-Bounded Practical Reasoning. **Computational Intelligence**, Cambridge, v.4, p. 349-355, 1988.
- [BRE 96] BREITER, Phillipe; SADEK, M. David. A rational agent as a kernel of a cooperative dialogue system: implementing a logical theory of interaction. In: WORKSHOP ON AGENT THEORIES, ARCHITECTURES AND LANGUAGES, ECAI, 1996. **Proceedings...** Budapest: Springer-Verlag, 1996. p. 261-276.
- [BRO 91a] BROOKS, Rodney A. Intelligence Without Reason. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IJICAI, 12., 1991. **Proceedings...** Sydney: Morgan Kaufmann , 1991. p. 569-595.
- [BRO 91b] BROOKS, Rodney A. Intelligence Without Representation. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v. 47, p. 139-159, Jan.1991.
- [CAS 95] CASTELFRANCHI, Cristiano. Commitments: From individual intentions to groups and organizations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS, ICMAS, 1., 1995. **Proceedings...** San Francisco: AAAI Press/MIT Press, 1995. p. 41-48.
- [COH 90a] COHEN, P.R.; LEVESQUE, H.J. Intention is choice with commitment. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v. 42, n.3, p. 213-261, 1990.

- [COH 90b] COHEN, P.R.; LEVESQUE, H.J. Rational interaction as the basis for communication. In: COHEN, P.R.; MORGAN, J.; POLLACK, M.E. (Ed.). **Intentions in Communications**. Massachusetts: MIT Press, 1990. p. 221-256.
- [DEC 89] DECKER, K.S.; HUMPHREY, M.A.; LESSER, V.R. Experimenting with Control in the DVMT. In: ANNUAL AAAI WORKSHOP ON BLACKBOARD SYSTEMS, 3., 1989. **Proceedings...** Detroit: [s.n.], 1989. p.103-121.
- [DUR 89] DURFEE, E. H.; LESSER, V. R.; CORKILL, D. Trends in cooperative distributed problem solving. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, New York, v.1, n.1, p. 63-83, 1989.
- [FEI 92] FERGUSON, I.A. Towards an architecture for adaptive, rational, mobile agents. In: WERNER, Eric; DEMAZEAU, Yves (Ed.). **Decentralized A.I. 3**. Amsterdam: Elsevier Science, 1992.
- [FIN 94] FININ, Tim; FRITZSON, Richard; McKAY, Don; McENTIRE, Robin. KQML as an agent communication language. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 3., 1994. **Proceedings...** Gaithersburg: ACM Press, 1994. p. 456-463.
- [GEO 89] GEORGEFF, Michael P.; INGRAND, François, F. Decision-making in an embedded reasoning system. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IJCAI, 6., 1989. **Proceedings...** Detroit: Morgan Kaufmann, 1989. p. 972-978.
- [HAD 96] HADDADI, Afsaneh. **Communications and Cooperation in Agent Systems: a pragmatic theory**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, n.1056).
- [HAY 88] HAYES-ROTH, Barbara. A Blackboard Architecture for Control. In: BOND, A.H.; GASSER, L. (Ed.). **Readings in Distributed Artificial Intelligence**. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1988. p. 61-70.
- [HAY 96] HAYNES, Thomas; SEN, Sandip. Evolving behavioral strategies in predators and prey. In: WORKSHOP ON ADAPTATION AND LEARNING IN MULTI-AGENT SYSTEMS, IJCAI, 1995. **Proceedings...** Berlin: Springer Verlag, 1996. p. 113-126.
- [HUH 97] HUHNS, Michael N.; SINGH, Munindar, P. Agents and Multiagent Systems: Themes, Approaches and Challenges. In: HUHNS, Michael N.; SINGH, Munindar, P (Ed.). **Readings in Agents**. San Francisco:Morgan Kaufmann, 1997. p. 1-23.
- [JEN 93a] JENNINGS, Nicholas R.; POPLE, Jeff A. Design and Implementation of ARCHON's Coordination Module. In: WORKSHOP ON COOPERATING KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS, 1993. **Proceedings...** Keele: [s.n.], 1993. p. 61-82.

- [JEN 94] JENNINGS, Nick R. **Cooperation in Industrial Multi-Agent Systems**. London: World Scientific Publishing, 1994. (World Scientific Series in Computer Science, v.43).
- [LES 83] LESSER, V.R.; CORKILL, D.D. The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool for Investigating Distributed Problem Solving Networks. **AI Magazine**, Massachusetts, v.4, n.3, p. 15-33, 1983.
- [LEV 92] LEVY, Ran; ROSENSCHEIN, Jeffrey S. A game theoretic approach to the pursuit problem. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 11., 1992. **Proceedings...** Amsterdam: Elsevier Science, 1992. p. 195-213.
- [MOU 96] MOULIN, B.; CHAIB-DRAA, B. An Overview of Distributed Artificial Intelligence. In: O'HARE, G.; JENNINGS, N. (Ed.). **Foundations of Distributed Artificial Intelligence**. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 3-55.
- [MOU 98] MOUKAS, Alexandros; CHANDRINOS, K.V.; MAES, Pattie. Trafficopter: A distributed collection system for traffic information. In: COOPERATIVE INFORMATION AGENTS SYSTEMS AND APPLICATIONS, CIA-ICMAS, 2., 1998. **Proceedings...** Paris: Springer-Verlag, 1998. p.33-43. Disponível em: <<http://trafficopter.www.media.mit.edu/projects/trafficopter>>. Acesso em 19 set. 2001.
- [MUL 94a] MULLER, J.P.; PISCHEL, M.; THIEL, M. A pragmatic approach to modelling autonomous interacting systems. In: WORKSHOP ON AGENT THEORIES, ARCHITECTURES AND LANGUAGES, ATAL, 1., 1994. **Proceedings...** Amsterdam: Springer-Verlag, 1994. p. 226-240.
- [MUL 94b] MULLER, J.P.; PISCHEL, M. Modelling interacting agents in dynamic environments. In: EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ECAI, 11., 1994. **Proceedings...** Amsterdam: Springer-Verlag, 1994. p. 709-713.
- [MUL 96a] MULLER, P. **The Design of Intelligent Agents**: a layered approach. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v. 1177).
- [MUL 96b] MULLER, H. J. Negotiation Principles.. In: O'HARE, G.; JENNINGS, N. (Ed.). **Foundations of Distributed Artificial Intelligence**. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 211-229.
- [PAU 99] PAULA, Gustavo E.; RAMOS, Francisco S.; RAMALHO, Geber L. Uma Arquitetura para Agentes Negociadores Baseada em Teoria dos Jogos. In: ENCONTRO NACIONAL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, ENIA, 2.; CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, SBC, 19, 1999. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 1999. p. 355-368.

- [ROT 83] ROTH, B. Hayes. **A blackboard Model of Control**. Stanford: Stanford University, 1983. (Technical Report Heuristic Programming Project 8338).
- [SAN 95] SANDHOLM, T.; LESSER, V. Issues in Automated Negotiation and Electronic Commerce: Extending the Contract Net Framework. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIAGENT SYSTEMS, ICMAS, 1., 1995. **Proceedings...** San Francisco: AAAI Press/MIT Press, 1995. p. 328-335.
- [SEG 96a] SEGHROUCHNI, Amal El Fallah; HADDAD, Serge. A Coordination Algorithm for Multi-Agent Planning. In: EUROPEAN WORKSHOP ON MODELING AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD, MAAMAW, 7., 1996. **Proceedings...** Eindhoven: Springer-Verlag, 1996. p. 86-99. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v. 1038).
- [SEG 96b] SEGHROUCHNI, Amal El Fallah. Rational Agent Cooperation Through Concurrent Plan Coordination. In: IBEROAMERICAN WORKSHOP ON DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MULTIAGENT SYSTEMS, DAIMAS, 1., 1996. **Proceedings...** Xalapa (México): [s.n.], 1996.
- [SIC 92] SICHMAN, Jaime; DEMAZEAU, Yves; BOISSIER, Olivier. When Can Knowledge-Based Systems Be Called Agents ? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, SBIA, 9., 1992. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 1992. p. 172-185.
- [SMI 80] SMITH, Reid G. The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver. **IEEE Transactions on Computers**, New York, v.29, n.12, p.1104-1113, 1980.
- [STO 2000a] STONE, Peter; VELOSO, Manuela. Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective. **Autonomous Robotics**, Norwell, v. 8, n. 3, p. 345-383, July 2000.
- [SUG 95] SUGAWARA, Toshiharu; LESSER, Victor. Learning coordination plans in distributed OS environments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS, ICMAS, 1., 1995. **Proceedings...** San Francisco: AAAI Press/MIT Press, 1995.
- [SYC 88] SYCARA, K.P. Resolving Goal Conflicts via Negotiation. In: NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AAAI, 7., 1988. **Proceedings...** St. Paul: Morgan Kaufmann, 1988. p. 245-250.
- [SYC 2001] SYCARA, K. P. **Multi-Agent Systems**. The American Association for Artificial Intelligence. Disponível em: <<http://www.aaai.org/AITopics/html/multi.html>>. Acesso em: 05 ago. 2001.
- [WEI 98] WEISS, Gerhard. Learning to Coordinate Actions in Multi-Agent Systems. In: HUHNS, Michael N.; SINGH, Munindar P. (Ed.). **Readings in Agents**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998. p. 481-486.

- [WER 91] WERNER, Eric. The design of Multi-Agent Systems. In: EUROPEAN WORKSHOP ON MODELING AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD, MAAMAW, 3., 1991. **Proceedings...** Kaiserslautern: DFKI, 1991. p. 3-28.
- [WER 96a] WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Avaliação da Qualidade de Medidas**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996. 98p. (Ferramentas da Qualidade, v.13).
- [WOO 95] WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nicholas R. Intelligent Agents: Theory and Practice. **The Knowledge Engineering Review**, Cambridge, v. 10, n. 2, p. 115-152, 1995.
- [WOO 2002] WOOLDRIDGE, Michael. **An Introduction to MultiAgent Systems**. New York: John Wiley, 2002. 348p.
- [ZLO 96] ZLOTKIN, Gilad; ROSENSCHEIN, J.S. Mechanism for Automated Negotiation in State Oriented Domains. **Journal of Artificial Intelligence Research**, [S.l.], v. 5, p. 163-238, 1996.