JÚLIO DE LIMA DO RÊGO MONTEIRO

**SIMULAÇÃO DE PARCERIAS ENTRE AGENTES:
UMA EXTENSÃO DO SISTEMA PART-NET**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica

São Paulo
2004

JÚLIO DE LIMA DO RÊGO MONTEIRO

**SIMULAÇÃO DE PARCERIAS ENTRE AGENTES:
UMA EXTENSÃO DO SISTEMA PART-NET**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica

Área de Concentração:
Sistemas Digitais

Orientador:
Prof. Dr. Jaime Simão Sichman

São Paulo
2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência do orientador.

São Paulo, 25 de julho de 2004

Aluno: Júlio de Lima do Rêgo Monteiro

Orientador: Prof. Dr. Jaime Simão Sichman

Monteiro, Júlio de Lima do Rêgo

Simulação de Parcerias entre Agentes: Uma Extensão do Sistema PART-NET. São Paulo, 2004. 143 p.

Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Computação. 2. Inteligência Artificial. 3. Sistemas Multiagentes. 4. Simulação Computacional. 5. Simulação de Parcerias em Sistemas Multiagentes.

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao Prof. Dr. Jaime Simão Sichman, o meu orientador, que possibilitou todo este trabalho, oferecendo luz e sabedoria nos momentos mais complicados, além de ensinar-me a perseguir um único foco de pesquisa por vez.

Agradeço à minha família, Célia, Henrique e Elisa, por todo o suporte e compreensão, ajudando a manter-me motivado e a priorizar os meus objetivos acadêmicos.

Agradecimentos especiais a Rosária Conte e Roberto Pedone, por oferecer materiais e explicações sobre a sua pesquisa, elucidando de forma significativa diversos pontos e questões relacionadas ao sistema PART-NET. Agradeço também o seu auxílio para testar as versões iniciais do simulador.

Agradeço ao Prof. Carlos Eduardo Ferreira, do Instituto de Matemática e Estatística da USP, por oferecer idéias e alternativas na implementação do algoritmo de formação de parcerias utilizando hipergrafos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação baseada em multiagentes para calcular a emergência de parcerias entre múltiplos agentes. A metodologia adotada foi tomar como base o sistema PART-NET [CONTE'98], que efetua o cálculo da emergência de parcerias entre uma dupla de agentes, e alterá-lo de acordo com o objetivo proposto. Dessa maneira, dividiu-se o trabalho em duas etapas. Na primeira, o sistema original foi reescrito na linguagem Java, promovendo benefícios operacionais, como a melhora da interface e a apresentação dos resultados de forma gráfica. Esse sistema intermediário foi denominado PartNET+. A segunda etapa constituiu-se em expandir a funcionalidade do sistema intermediário, tornando sua arquitetura de agentes mais completa pela adição de planos, o que permite novos tipos de parcerias. Para processar essas parcerias, criou-se um novo algoritmo para cálculo de parcerias entre múltiplos agentes, com base em hipergrafos. O sistema resultante, que compreende estas extensões funcionais, foi denominado PartNET++.

ABSTRACT

The purpose of this work is the development of a multiagent based simulation tool to account partnership formation among multiple agents. In order to achieve that, the PART-NET [CONTE'98] system was adopted as a base. This system calculates the partnership formation of pairs of agents, and was altered according to the proposed objective. In this manner, the work was divided in two stages. In the first, the original system was redesigned using the Java language, bringing operational improvements to the predecessor, such as user interface enhancement and graphical display of the results. This intermediary system was named PartNET+. The second stage promotes new functionality to this intermediary system, adding plans to its agent architecture to allow new kinds of partnerships. A new algorithm for multiple agents partnership formation was developed based on hipergraphs, and the final system that handles this enhanced partnership formation was called PartNET++

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ESCOPO.....	1
1.2. MOTIVAÇÃO	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.4. METODOLOGIA	4
1.5. RESULTADOS ESPERADOS.....	6
1.6. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	6
2. SIMULAÇÃO BASEADA EM MULTIAGENTES.....	9
2.1. SISTEMAS MULTIAGENTES.....	9
2.2. SIMULAÇÃO BASEADA EM MULTIAGENTES	12
2.3. EXEMPLOS DE AMBIENTES DE SIMULAÇÃO	14
3. TEORIA DA DEPENDÊNCIA	18
3.1. CONCEITOS BÁSICOS	18
3.2. REDES DE DEPENDÊNCIA	20
3.3. GRAFOS DE DEPENDÊNCIA.....	23
4. O SISTEMA PART-NET.....	27
4.1. INTRODUÇÃO	27
4.2. DESCRIÇÃO.....	27
4.3. FUNCIONAMENTO	29
4.4. INTERFACE.....	30
4.5. RESULTADOS	32
4.6. LIMITAÇÕES.....	36
5. EXTENSÕES OPERACIONAIS: PARTNET+.....	39
5.1. REENGENHARIA	39
5.2. INTERFACE GRÁFICA	41
5.3. RESULTADOS GRÁFICOS DA SIMULAÇÃO.....	45
5.4. GERADOR DE SOCIEDADES	45
5.5. ARQUIVOS XML.....	46
5.6. CONCLUSÕES	47
6. EXTENSÕES FUNCIONAIS: PARTNET++	49
6.1. PARCERIAS SIMULTÂNEAS COM VÁRIOS AGENTES.....	49
6.2. GRAFOS DE DEPENDÊNCIA COMO HIPERGRAFOS	50
6.2.1. <i>Tolerância Social</i>	55
6.2.2. <i>Estratificação Social</i>	55
6.3. ALGORITMO DE FORMAÇÃO DE PARCERIAS UTILIZANDO MÚLTIPLOS AGENTES	56
6.3.1. <i>Problema da Busca do Menor Hiper ciclo</i>	56
6.3.2. <i>Descrição Detalhada</i>	60
6.3.3. <i>Exemplo de Execução</i>	63
6.4. DIFERENÇAS COM RELAÇÃO AO PARTNET+	71
7. RESULTADOS OBTIDOS.....	78
7.1. VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS ORIGINAIS	78
7.2. VALIDAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS	79
7.2.1. <i>PartNET+</i>	80
7.2.2. <i>PartNET++</i>	82
7.3. TESTES DE SIMULAÇÃO.....	86
7.3.1. <i>PartNET+</i>	90
7.3.2. <i>PartNET++</i>	98
7.4. TEMPO DE SIMULAÇÃO	106
8. CONCLUSÕES.....	109
8.1. RESULTADOS OBTIDOS	109
8.2. PROBLEMAS ENCONTRADOS	109
8.3. TRABALHOS FUTUROS	111

8.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
BIBLIOGRAFIA.....	114
ANEXOS	120
ANEXO A - ARQUIVOS XML.....	120
ANEXO B - RESULTADOS DOS TESTES	122
ANEXO C - TEMPOS DE SIMULAÇÃO	139
APÊNDICES.....	141
APÊNDICE A - AVALIAÇÃO DAS BIBLIOTECAS DE GRAFOS EM JAVA	141

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 CICLO DOS PASSOS NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO	14
FIGURA 3.1 REDE DE DEPENDÊNCIA [SICHMAN'02]	21
FIGURA 3.2 TIPOS DE DEPENDÊNCIA EM UMA REDE [SICHMAN'02]	23
FIGURA 3.3 GRAFO DE DEPENDÊNCIA [SICHMAN'02]	24
FIGURA 3.4 GRAFO DE DEPENDÊNCIA SIMPLIFICADO [SICHMAN'02]	25
FIGURA 4.1 CICLO DE SIMULAÇÃO DO PART-NET.....	29
FIGURA 4.2 INTERFACE PRINCIPAL DO PART-NET (EM ITALIANO)	30
FIGURA 4.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	30
FIGURA 4.4 RESULTADOS DO PART-NET COM UM NÚMERO CRESCENTE DE OBJETIVOS [CONTE'98] ..	33
FIGURA 4.5 RESULTADOS DO PART-NET COM UM NÚMERO CRESCENTE DE AGENTES [CONTE'98] ..	33
FIGURA 4.6 RESULTADOS DO PART-NET EM SOCIEDADES HOMOGÊNEAS [CONTE'98]	34
FIGURA 4.7 RESULTADOS DO PART-NET EM SOCIEDADES HETEROGÊNEAS [CONTE'98]	35
FIGURA 4.8 COMPARAÇÃO DA MÉDIA DOS HETEROGÊNEOS COM OS HOMOGÊNEOS [CONTE'98]	35
FIGURA 5.1 ALGORITMO DO PARTNET+	40
FIGURA 5.2 INTERFACE PRINCIPAL DO PARTNET+.....	42
FIGURA 5.3 TELA DE EDIÇÃO DE UM AGENTE.....	43
FIGURA 5.4 INSPETOR DA SOCIEDADE	44
FIGURA 5.5 RESUMO DA SIMULAÇÃO	44
FIGURA 5.6 EXEMPLO DE GRÁFICO DO BENEFÍCIO LÍQUIDO ACUMULADO DO PARTNET+.....	45
FIGURA 5.7 GERADOR ALEATÓRIO DE SOCIEDADES	46
FIGURA 5.8 DTD DO PARTNET+.....	47
FIGURA 6.1 GRAFO DE DEPENDÊNCIA COMO UM HIPERGRAFO	50
FIGURA 6.2 GOAL-DEPENDENCE EM UM HIPERGRAFO	52
FIGURA 6.3 PLAN-DEPENDENCE EM UM HIPERGRAFO	52
FIGURA 6.4 AND-DEPENDENCE(A) E OR-DEPENDENCE(B) EM UM HIPERGRAFO	53
FIGURA 6.5 AND-MATCH E OR-MATCH	54
FIGURA 6.6 HIPERCICLO PARA AG1	58
FIGURA 6.7 REDE DE DEPENDÊNCIA.....	61
FIGURA 6.8 AND-DEPENDENCE DE MENOR CUSTO	62
FIGURA 6.9 SOCIEDADE AMPULHETA	64
FIGURA 6.10 REDE DE DEPENDÊNCIA PARA AG1 DESORDENADA.....	65
FIGURA 6.11 REDE DE DEPENDÊNCIA PARA AG1 ORDENADA.....	66
FIGURA 6.12 AMPULHETA COM UMA PARCERIA DE AG1	67
FIGURA 6.13 REDE PARA AG4	68
FIGURA 6.14 AMPULHETA COM AS PARCERIAS DE AG1 E AG4	68
FIGURA 6.15 REDE PARA AG5	70
FIGURA 6.16 AMPULHETA COM AS PARCERIAS DE AG1, AG4 E AG5.....	70
FIGURA 6.17 RESUMO DA SIMULAÇÃO DA SOCIEDADE DA AMPULHETA NO PARTNET++	71
FIGURA 6.18 INTERFACE PRINCIPAL DO PARTNET++	72
FIGURA 6.19 INTERFACE DE CONFIGURAÇÃO DE PLANOS.....	73
FIGURA 6.20 INTERFACE DE OBSERVAÇÃO DO GRAFO DE DEPENDÊNCIA.....	74
FIGURA 6.21 INTERFACE DO GERADOR DE SOCIEDADES ALEATÓRIAS	74
FIGURA 6.22 INTERFACE PARA ALTERAR OS PARÂMETROS DA SOCIEDADE	75
FIGURA 6.23 O DTD DO PARTNET++	76
FIGURA 7.1 REPRESENTAÇÃO DA SOCIEDADE PARA A VALIDAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS NO PARTNET+ ..	81
FIGURA 7.2 RESULTADOS DA ESTRATÉGIA SUBSTANCIALISTA NO PARTNET+	81
FIGURA 7.3 RESULTADOS DA ESTRATÉGIA UTILITARISTA NO PARTNET+.....	81
FIGURA 7.4 RESULTADOS DA ESTRATÉGIA AVARA NO PARTNET+.....	82
FIGURA 7.5 REPRESENTAÇÃO DA SOCIEDADE PARA VALIDAÇÃO DE ESTRATÉGIAS NO PARTNET++	83
FIGURA 7.6 RESULTADO DA ESTRATÉGIA SUBSTANCIALISTA NO PARTNET++	84
FIGURA 7.7 RESULTADO DA ESTRATÉGIA UTILITARISTA NO PARTNET++	85
FIGURA 7.8 RESULTADO DA ESTRATÉGIA AVARA NO PARTNET++.....	86
FIGURA 7.9 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H1 NO PARTNET+	92
FIGURA 7.10 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H2 NO PARTNET+	94
FIGURA 7.11 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H3 NO PARTNET+	95
FIGURA 7.12 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H4 NO PARTNET+	97

FIGURA 7.13 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H1 NO PARTNET++	99
FIGURA 7.14 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H1 COM APP=2 NO PARTNET++.....	100
FIGURA 7.15 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H2 NO PARTNET++	101
FIGURA 7.16 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H3 NO PARTNET++	103
FIGURA 7.17 ANÁLISE GRÁFICA DA HIPÓTESE H4 NO PARTNET++	105

LISTA DE TABELAS

TABELA I - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E11.....	124
TABELA II - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E12	126
TABELA III - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E13	128
TABELA IV - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E14.....	130
TABELA V - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E21	132
TABELA VI - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E22.....	134
TABELA VII - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E23	136
TABELA VIII - DADOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E24	138
TABELA IX - TEMPOS DE SIMULAÇÃO NO PARTNET+	139
TABELA X - TEMPO DE SIMULAÇÃO NO PARTNET++	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFT	Breadth First Traverse (em inglês)
DFS	Depth First Traverse (em inglês)
DTD	Document Type Definition (em inglês)
IA	Inteligência Artificial
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
MABS	Multi-Agent Based Simulation (em inglês)
RDP	Resolução Distribuída de Problemas
SMA	Sistemas Multiagentes
XML	Extensible Markup Language (em inglês)

1. INTRODUÇÃO

1.1. Escopo

Segundo algumas correntes [RUSSEL'95], a Inteligência Artificial (IA) tem como objeto de estudo a inteligência, tentando propor modelos artificiais para compreender seu funcionamento. Assim, a simulação computacional tem sido uma ferramenta corriqueira do pesquisador de IA desde o início da existência desse campo de pesquisa.

Por meio de modelos, pode-se compreender melhor os fenômenos reais. A simulação computacional é um tipo de modelagem que utiliza o computador como ferramenta para o desenvolvimento e a experimentação de modelos.

No entanto, a modelagem de sistemas reais complexos pode ser bastante difícil. Em certos casos, os modelos ficam extremamente limitados e só funcionam em um determinado escopo: basta apenas variar alguns parâmetros e os modelos já se tornam inválidos ou irrealistas.

Existe grande interesse, portanto, no desenvolvimento de modelos mais gerais, que possam funcionar em vários escopos. De fato, algumas vezes podem-se utilizar soluções naturais de um contexto para resolver problemas em outros contextos.

Para a simulação social, esse tipo de raciocínio pode ser muito valioso, uma vez que as sociedades (especialmente as sociedades compostas por humanos) são sistemas extremamente complexos, e podem servir de fonte de idéias para sistemas e processos que funcionam em face de uma grande complexidade [EDMONDS'01].

A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) surge, então, como alternativa à IA Clássica, trazendo uma nova metáfora social para a inteligência, com ênfase nas ações e interações de grupos de agentes. Os interesses na área normalmente se dividem em duas frentes: Resolução Distribuída de Problemas (RDP) e Sistemas Multiagentes (SMA) [DURFEE'94].

Em [SICHTMAN'92], a diferença entre essas duas frentes é explicada pela definição de autonomia. A RDP utiliza agentes desenvolvidos especificamente com uma finalidade: resolver um determinado problema pré-definido. Em SMA, em contrapartida, a preocupação está em desenvolver agentes que possam trabalhar em conjunto para atingir objetivos em comum, de forma autônoma, ou seja, os agentes existem independentemente de um problema definido a priori que deva ser resolvido.

Um SMA é tipicamente um sistema aberto, onde os agentes podem dinamicamente entrar e sair da sociedade, sem um controle global. Além disso, o próprio ambiente está sujeito a mudanças, de forma que os agentes precisam incorporar essas mudanças a sua visão de mundo.

As características de um SMA são compatíveis com o comportamento de uma sociedade de indivíduos reais. Assim, trata-se de uma boa referência para a criação de modelos que pretendam simular tais sociedades.

Os agentes participantes de uma sociedade podem ser modelados de diversas formas. De maneira simplificada, porém, pode-se dizer que eles têm sempre **objetivos** a cumprir, que representam seus desejos, aspirações ou metas; além disso, são capazes de realizar **ações** na sociedade, seja para si mesmos, seja para os outros.

Na medida em que alguns agentes têm objetivos que não podem cumprir sozinhos, estabelecem-se **relações de dependência** [CASTELFRANCHI'90] na sociedade.

Este trabalho situa-se, portanto, no contexto da chamada Simulação Baseada em Multiagentes (MABS, do inglês, Multi-Agent Based Simulation) com foco no estudo das relações de dependência e parcerias que possam se formar em uma sociedade.

1.2. Motivação

De acordo com alguns estudiosos das Ciências Sociais ([GILBERT'99], [CONTE'98], entre outros), as técnicas de simulação têm um valor considerável para

uma melhor compreensão das inter-relações que surgem em diversos tipos de sociedades e ambientes.

No entanto, apesar do enorme potencial de MABS para o desenvolvimento de pesquisas nas Ciências Sociais, a ausência de ferramentas adequadas, por serem muito específicas ou então de utilização muito complexa, dificulta a aproximação de pesquisadores que não têm conhecimento do domínio restrito do simulador escolhido.

Houve algumas iniciativas no sentido de criar sistemas de simulação em MABS que fossem mais genéricos ([LANGTON'96], [VINCENT'01], [PARKER'01] e outros), mas de forma geral os modelos de agentes são limitados ou requerem o conhecimento de uma linguagem de programação.

Assim, desenvolver um sistema baseado em MABS que seja suficientemente genérico e fácil de utilizar não é uma tarefa trivial, como se pode observar em [GILBERT'97]. Criar, porém, um simulador que seja adequado em um determinado domínio de MABS parece consideravelmente menos complexo.

Ao desenvolver um simulador, seria um bom princípio partir de um sistema já consolidado e suficientemente simples, adicionando-lhe algumas novas funcionalidades e elaborando melhor a sua interface, para enfim obter um simulador mais genérico e utilizável dentro de um domínio de MABS. Essa foi a estratégia adotada neste trabalho.

1.3. Objetivos

O objetivo central deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação baseada em multiagentes para calcular a emergência de parcerias entre múltiplos agentes.

Para desenvolver tal ferramenta, porém, escolheu-se partir de um sistema existente, que permite o cálculo da emergência de parcerias entre dois agentes, permitindo partir de um modelo mais simples.

Contudo, ao optar por partir de um sistema pré-existente, foi necessário reescrevê-lo de forma a implementar as alterações necessárias para suportar um modelo mais complexo. A partir desse software intermediário, então, foram implementadas as extensões desejadas, como uma arquitetura de agentes que utiliza o conceito de planos.

Por outro lado, precisou-se também desenvolver um novo algoritmo que pudesse resolver o cálculo de parcerias entre múltiplos agentes. Esse novo algoritmo foi desenvolvido utilizando-se o conceito de “grafo de dependência”, apresentado em [SICHMAN’02], que será detalhado na seção 3.3. Tais grafos de dependência foram implementados através do formalismo chamado de “hipergrafo”, detalhado na seção 6.2.

1.4. Metodologia

Para atingir esse objetivo, tomou-se como base o sistema de simulação PART-NET [CONTE’98], que é um software de simulação para MABS, cujo objetivo é o estudo da formação de parcerias entre dois agentes.

O PART-NET foi desenvolvido para o estudo de diferentes estratégias de escolha de parceiros entre duplas de agentes com diversos graus de dependência. Os modelos escolhidos de sociedade, agente e organização são bastante simples, servindo ao propósito do sistema.

O PART-NET, porém, mostrou-se limitado em certos aspectos. Este trabalho propõe, assim, algumas extensões a esse sistema, com o intuito de melhorar sua usabilidade e possibilitar o estudo de padrões mais complexos de parcerias. Em uma primeira dimensão, as extensões são de ordem **operacional**, ou seja, melhorias na interface com o usuário e na apresentação dos resultados de forma gráfica. Em segunda instância, são propostas extensões de cunho **funcional**, permitindo que o software seja capaz de operar com novos conceitos.

As alterações **operacionais** compreendem:

- 1) Reengenharia do sistema antigo;

- 2) Interface simples e adequada para o usuário;
- 3) Gerador randômico de sociedades;
- 4) Sistema de leitura e gravação da simulação usando a linguagem XML;
- 5) Exibição gráfica dos resultados da simulação.

As alterações **funcionais** propostas são, essencialmente:

- 1) Inclusão de planos no modelo, permitindo parcerias simultâneas com mais de um agente;
- 2) Implementação do grafo de dependência para aprimorar o modelo de sociedade;
- 3) Desenvolvimento de um algoritmo eficiente de busca de parcerias de acordo com a estratégia, utilizando como base o grafo de dependência.

Como resultado das alterações operacionais, desenvolveu-se um software intermediário denominado **PartNET+**. O software obtido após a incorporação das alterações funcionais foi chamado de **PartNET++**. O PartNET++ herda todos os aperfeiçoamentos do PartNET+, sendo uma versão ainda mais evoluída do primeiro.

1.5. Resultados Esperados

Sem descuidar do foco inicial no sistema PART-NET, espera-se que o novo software desenvolvido apresente resultados compatíveis com o modelo original, de forma que os mesmos resultados obtidos pelos seus autores possam ser replicados no novo sistema.

Para averiguar a compatibilidade entre os simuladores, vários testes devem ser realizados. Em primeiro lugar, é necessário validar o comportamento dos agentes utilizando as estratégias propostas. Em segundo lugar, é preciso realizar testes nos mesmos cenários propostos originalmente e verificar se os resultados são compatíveis.

1.6. Organização do Documento

Este documento é composto de 8 (oito) capítulos, 3 (dois) anexos e um apêndice. No capítulo 2, apresenta-se uma visão geral da área de MABS, explicando o que são os sistemas multiagentes e qual o interesse em utilizar esse tipo de modelo em simulação. Discute-se, também, a diferença entre simuladores e ambientes de simulação, apresentando o estado da arte das ferramentas de MABS.

No capítulo 3, restringe-se ainda mais a discussão sobre MABS para agentes cognitivos e o estudo das relações de dependência social que podem surgir entre eles. Oferece-se uma visão breve sobre a teoria da dependência e sobre as formas de representar dependências por meio de estruturas matemáticas tais como redes e grafos.

O sistema PART-NET é detalhado meticulosamente no capítulo 4, incluindo uma descrição da sua arquitetura de agentes, do seu algoritmo e do seu funcionamento. São apresentados, então, os resultados obtidos na utilização do sistema. Por último, é feita uma análise, exibindo os pontos que possibilitam extensões e os critérios para realizá-las.

Constatando as limitações do PART-NET, são propostas duas frentes de extensões: as operacionais e as funcionais. Optou-se por desenvolver um novo software em duas etapas, denominadas PartNET+ e PartNET++.

O PartNET+, que contempla as extensões operacionais do PART-NET, é detalhado no capítulo 5, com destaque para o trabalho de reengenharia realizado no software original, que exibe uma nova interface gráfica, e outras melhorias na sua forma de utilização.

O capítulo 6 apresenta o PartNET++, descrevendo-se as extensões funcionais que ampliam o escopo do simulador original, o que permite elaborar novos tipos de simulação e observar novos resultados. São detalhadas ainda as alterações feitas na arquitetura dos agentes e a nova forma de representar parcerias na sociedade. Nesse capítulo é detalhado também o novo algoritmo desenvolvido para a busca de parcerias com múltiplos agentes, utilizando hipergrafos.

Os testes realizados e os resultados obtidos nos sistemas PartNET+ e PartNET++ são discutidos no capítulo 7. Nesse capítulo, são explicadas quais foram as formas de medir a acuidade do novo software em comparação com o original, o que garante a preservação das funcionalidades anteriores. Também são feitas considerações a respeito do tempo de simulação, com uma análise preliminar sobre a complexidade do novo algoritmo.

Finalmente, no capítulo 8 são discutidos os problemas encontrados no decorrer do trabalho e comentadas as dificuldades no desenvolvimento do novo software. Nesse capítulo é feita, também, uma análise macroscópica dos resultados obtidos, examinando-se as oportunidades para trabalhos futuros.

No Anexo A, apresentam-se alguns exemplos dos arquivos XML utilizados como formato de gravação das sociedades nos simuladores PartNET+ e PartNET++.

As tabelas com os resultados completos das várias simulações realizadas estão apresentadas detalhadamente no Anexo B.

No Anexo C, encontram-se as tabelas que indicam os tempos de simulação para cada experimento realizado.

Por fim, o Apêndice A mostra uma comparação entre as diversas bibliotecas disponíveis para a representação visual e matemática de grafos em Java.

2. SIMULAÇÃO BASEADA EM MULTIAGENTES

2.1. Sistemas Multiagentes

O estudo da Inteligência Artificial, como forma de analisar e entender a inteligência, se dá em várias instâncias. A inteligência é uma característica que pode ser observada nos mais diferentes contextos.

Um contexto extremamente fértil para a observação de fenômenos inteligentes é o contexto social. Essa é a área de atuação da Inteligência Artificial Distribuída (IAD), que observa inteligência no comportamento social, em oposição aos estudos da IA tradicional, que procuram observar inteligência no comportamento individual humano [SICHTMAN'92].

Esse tipo de abordagem é extremamente útil quando se tenta elaborar modelos para resolver problemas complexos de grande escala, dividindo a complexidade em subproblemas menores e mais fáceis de gerenciar.

A IAD se subdivide em duas áreas principais: **Resolução Distribuída de Problemas** (RDP) e **Sistemas Multiagentes** (SMA) [DURFEE'94]. Em ambas as áreas, o conceito de *agente* descreve as entidades individuais que têm algum tipo específico de participação no modelo.

Um **agente** é um sistema de software ou de hardware que apresenta algumas propriedades básicas: *autonomia* (capacidade de funcionar sem a intervenção externa), *reatividade* (capacidade de perceber e reagir ao meio ao redor), *interação social* (alguma forma de linguagem ou comunicação) e *pró-atividade* (presença de objetivos individuais, planejamento e iniciativa) [WOOLDRIDGE'94].

A maior diferença entre SMA e RDP consiste na sua explicação do conceito de autonomia [SICHTMAN'92][DEMAZEAU'90]. Em RDP, os agentes são projetados para resolver problemas específicos, ou seja, em princípio os agentes não podem ser utilizados para resolver problemas semelhantes. A RDP trabalha com sistemas fechados, onde novos agentes não podem ser adicionados à sociedade

dinamicamente. Em geral, utiliza-se a concepção do problema para se projetar os agentes, e então estes permanecem funcionando apenas para resolver aquele problema específico.

Em contrapartida, em SMA o objetivo é observar o resultado da atividade de agentes *autônomos* em uma sociedade composta por múltiplos agentes e não resolver um determinado problema. Os agentes existem independentemente do problema, coabitando um ambiente comum, podendo ou não colaborar uns com os outros para atingir um determinado objetivo individual ou coletivo. Um SMA é um sistema aberto, permitindo a entrada ou saída de agentes a qualquer momento, uma vez que os agentes são capazes de manter uma descrição explícita das capacidades e objetivos dos outros.

Em SMA, é possível dividir o conceito de agentes em dois grupos, **agentes reativos** e **agentes cognitivos** [SICHTMAN'92]:

- os **agentes reativos** funcionam por meio de estímulos do ambiente, sem armazenar uma memória das suas ações passadas ou capacidade de previsão das ações futuras. Além disso, não há uma linguagem de comunicação de alto nível, nem uma representação interna das suas impressões sobre o ambiente ou outros agentes. Esse tipo de agente, em geral, baseia-se em modelos de organização biológicos, como colônias de formigas. A idéia central é que o comportamento inteligente *emerge* da interação de entidades mais simples;
- os **agentes cognitivos** são baseados em modelos de organização social, como mercados, hierarquias e grupos de pessoas. Os agentes são capazes de representar internamente conceitos sobre o ambiente e sobre outros agentes, podem raciocinar a respeito de suas ações passadas e futuras, além de tomar iniciativas. Em geral, são dotados de uma linguagem de comunicação de alto nível, que lhes permite a troca de informações sobre crenças, desejos e intenções em relação ao ambiente.

O modelo Vogais ([SICHMAN'03] e [DEMAZEAU'95]) estabelece a seguinte divisão taxonômica de SMA:

- **agentes:** caracterizam os elementos internos ativos do sistema, seus estados internos, objetivos, planos, desejos, intenções, crenças, etc;
- **ambientes:** caracterizam os elementos passivos do sistema, especificando o meio onde os agentes irão interagir, quais as suas limitações e modelando as leis às quais todos os agentes e objetos estão sujeitos;
- **protocolos de interação:** caracterizam os meios pelos quais os agentes trocam informações e controle entre si. Estabelecem quais primitivas de diálogo um protocolo de cooperação e interação social deve ter, além de estudar a comunicação por meio de sinais deixados no ambiente, entre agentes reativos;
- **organizações:** descrevem as políticas a serem seguidas para restringir a interação entre os agentes, definindo estruturas como a hierarquia social e quais agentes exercem papel de moderadores, facilitadores ou censores.

Os agentes cognitivos são capazes de armazenar uma **descrição externa** dos outros agentes e do ambiente, ou seja, observar quais os objetivos e as capacidades dos outros agentes. Mesmo que tenham uma mesma representação externa, os agentes podem ter um funcionamento interno diferente. No caso da representação externa ser explícita, os agentes podem utilizar essas informações no processo de decisão. Normalmente, a descrição externa dos agentes relaciona-se à sua capacidade de comunicação, sendo atualizada a partir das conversas com os outros agentes.

A comunicação entre agentes não se limita simplesmente a perceber estímulos do ambiente, mas envolve a troca de informações ou dados com outros agentes, permitindo-lhes expressar conceitos semânticos que facilitem o trabalho em conjunto, tais como objetivos, planos e compromissos.

Todas as formas de interação, no entanto, requererem diversas modalidades de controle para organizar e tornar mais eficientes os relacionamentos sociais. O controle pode ser centralizado em situações em que um agente tem a visão global do problema e toma a liderança, coordenando as ações dos outros, ou descentralizado, no caso de todos os agentes poderem participar dos processos de decisão sobre o papel desempenhado por cada um, seja por meios democráticos, como votação, ou por competição.

Com base nessa análise resumida, é possível ter uma visão da complexidade envolvida no estudo dos sistemas multiagentes. Na seção a seguir, são apresentadas considerações sobre a simulação computacional com uso de SMA.

2.2. Simulação Baseada em Multiagentes

Durante os últimos 25 anos, a metodologia de simulação computacional tem evoluído de maneira interessante. O próprio conceito de modelagem sofreu alterações significativas. Em primeiro lugar, presume-se que exista um fenômeno do “mundo real” no qual haja um interesse de pesquisa. Esse fenômeno é chamado de “alvo”. O objetivo então é criar um modelo consistente desse alvo, que seja mais simples de estudar do que o original. Espera-se que as conclusões obtidas em relação ao modelo sejam também aplicáveis ao original pelo seu grau de semelhança.

Em geral, quando se trata de simulação social, esse alvo é uma entidade dinâmica, que muda com o tempo e reage ao ambiente em que está inserida. Isso significa que o modelo também deve ser dinâmico. É possível representar o modelo utilizando uma especificação, como uma equação matemática, uma expressão lógica ou um programa de computador; mas, para aprender alguma coisa em relação a esse modelo, é preciso observar como ele se desenvolve ao longo do tempo.

Há algumas maneiras de examinar esse desenvolvimento. Pela forma analítica, utilizando-se transformações da especificação com o uso da lógica ou da matemática, consegue-se chegar a resultados precisos e consistentes. Uma outra forma é a simulação, que efetivamente “executa” o modelo – iteração após iteração – permitindo às vezes visualizar sua evolução. Em ambos os métodos, porém, devem-

se levar em conta as **condições iniciais**, ou seja, o estado no qual o modelo começa a ser considerado, principalmente quando se trata de um modelo dinâmico.

Com esses termos em mente, é possível visualizar os passos necessários para aplicar a simulação computacional de forma efetiva [GILBERT'99]:

- **identificação do problema** a ser estudado, definindo claramente o alvo da pesquisa;
- **observação** do alvo, para definir os parâmetros e as condições iniciais;
- **modelagem**, usando linguagem computacional;
- **execução** da simulação, gerando um resultado que pode ser analisado;
- **depuração** do modelo de forma que ele responda adequadamente a condições iniciais diversas;
- **validação** do modelo, comparando os resultados reproduzidos com as observações sobre o fenômeno real;
- análise da **sensibilidade** do modelo a mudanças nas condições iniciais.

A seqüência de tais passos pode ocorrer de forma cíclica, como mostrado na Figura 2.1.

Quando se trata de Simulação Baseada em Multiagentes (MABS), o alvo precisa ser decomposto em um conjunto de elementos e em suas interações. Cada elemento é modelado como um agente, e o modelo geral é o resultado das interações entre esses agentes.

Figura 2.1 Ciclo dos passos no processo de simulação

A tarefa de modelar um fenômeno segundo a perspectiva de um SMA pode ser subdividida nas seguintes etapas [FROZZA'99]:

- decompor o fenômeno alvo em um conjunto de elementos autônomos;
- modelar cada elemento como um agente, definindo o seu conhecimento, funções, comportamento e modos de interação;
- definir o ambiente dos agentes;
- estabelecer quais agentes detêm a capacidade de ação e comunicação.

Ao desenvolver sistemas de simulação em SMA, é importante fazer a diferenciação entre ferramentas genéricas, que servem como um ambiente para construir simulações, e ferramentas específicas, com as quais é feita uma determinada classe de simulações. As ferramentas específicas podem ser chamadas de *Simuladores*, e as genéricas, de *Ambientes de Simulação*, mostrados a seguir.

2.3. Exemplos de Ambientes de Simulação

O estado da arte em termos de MABS apresenta uma grande quantidade de simuladores específicos e uma pequena quantidade de ambientes de simulação mais genéricos. Dentre estes últimos, é mais difícil encontrar ambientes de simulação para

agentes cognitivos, talvez pela diversidade de arquiteturas de agente existentes. A maioria dos ambientes que oferecem recursos para agentes cognitivos não impõe restrições com relação à arquitetura dos agentes, deixando a cargo do usuário programá-los da forma que lhe for mais conveniente.

Os ambientes de simulação MABS mais utilizados na atualidade, segundo [MARIETTO'02], são os seguintes:

- **MADKIT** [GUTKNECHT'00]: O MadKit é uma plataforma para desenvolvimento de SMA baseada no modelo Aalaadim, escrita em Java, e sua arquitetura usa três princípios de projeto: micro-kernel, agentização dos serviços e modelo gráfico de componente. Os serviços do sistema são oferecidos por um agente especial, o KernelAgent, e pelo grupo “SYSTEM”. O sistema separa os agentes em grupos, e existe um agente especial com o papel de facilitador (Broker), que localiza agentes na sociedade. As comunicações ocorrem por um sistema de mensagens, que podem ser síncronas ou assíncronas. O sistema possui uma interface gráfica limitada, mas os tipos novos de agente devem ser programados em Java e implementar as suas próprias interfaces. A simulação ocorre de maneira síncrona sem paralelismo. Oferece uma documentação adequada e a possibilidade de utilizar módulos criados por terceiros.
- **SWARM** [LANGTON'96]: Uma das plataformas mais antigas de simulação de MABS, usa uma abordagem voltada para a organização, trabalhando com conceitos de Agentes e Swarms. Os swarms são o componente fundamental que organiza os agentes, e representam um modelo inteiro, ou seja, contêm agentes e uma representação do tempo. Porém, são modelados hierarquicamente: um swarm pode conter subswarms. Os agentes se comunicam por meio de eventos que podem afetar a si mesmos ou outros agentes. Existem dois tipos especiais de swarm: o primeiro, chamado Model Swarm, representa o modelo da simulação e a sua topologia; e o segundo, chamado

Observer Swarm, é responsável por gerar gráficos de saída e arquivos de dados. O sistema não possui uma interface gráfica, e para criar os agentes é necessário programar em ObjectiveC ou Java. O sistema suporta ainda paralelismo na execução da simulação, além de oferecer uma vasta biblioteca de funções e classes adicionais e documentação extensa.

- **CORMAS** [BOUSQUET'98]: O CORMAS, sistema denominado “Common-Pool Resources and Multiagent Systems”, é voltado para a modelagem da dinâmica das interações entre indivíduos e grupos, compartilhando recursos naturais renováveis. Os conceitos de entidade, agente e grupo formam a base da estrutura do modelo. As entidades podem ser espaciais, passivas e sociais. As espaciais modelam o ambiente topológico; as passivas são usadas como objetos para a troca de mensagens personalizadas entre agentes, os quais constituem as próprias entidades sociais. Os agentes podem estar tanto alocados em grupos quanto se locomover e se comunicar. A simulação é definida em três etapas: criação das entidades, controle e escalonamento e parâmetros observáveis. A comunicação entre os agentes é feita por meio de mensagens síncronas e assíncronas. Desenvolvido na linguagem SmallTalk, possui uma interface gráfica visual e uma biblioteca suplementar que fornece serviços adicionais de infra-estrutura.
- **MACE** [GASSER'01]: O MACE, ou “Multi-Agent Computing Environment”, é orientado para a organização, independentemente de domínio. Trabalha com os conceitos lógicos de agentes, papéis e organizações. Os agentes têm conhecimentos (representação do mundo, objetivos, planos etc.) e mecanismos que os representam e que podem manipular para perceber o ambiente e para executar ações. Pelo modelo de “*Acquaintances*”, os agentes são capazes de estabelecer descrições externas uns dos outros, além de raciocinar utilizando essas informações. O conceito de papel representa a

aceitação de um conjunto de expectativas. Assim, agentes que assumem papéis agem de forma padronizada. As organizações são objetos abstratos em relação aos quais os agentes podem atribuir expectativas e compromissos. Existe um agente denominado Manager, que funciona como facilitador na organização. A comunicação é feita por meio de mensagens síncronas ou assíncronas. Foi implementado em LISP e depois desenvolveu-se uma versão em Java. O desenvolvimento dos agentes depende do conhecimento de linguagem de programação, sem interface gráfica. A documentação é escassa e não existem bibliotecas de terceiros.

Com esse panorama, é possível observar que os ambientes de MABS, apesar de avançados e funcionais, requerem um conhecimento elevado de linguagens de programação. Sua curva de aprendizado é extremamente alta, motivo pelo qual pesquisadores valiosos de outras áreas, que poderiam ser grandemente beneficiados pelos mecanismos de simulação em MABS, deixam de utilizar esses recursos.

Assim, visando desenvolver um simulador de fácil uso e extensível, optou-se por desenvolver, neste trabalho, um simulador de parcerias sem utilizar como base tais ambientes. No próximo capítulo, detalha-se a Teoria da Dependência, que se constitui no elemento teórico básico para o simulador desenvolvido.

3. TEORIA DA DEPENDÊNCIA

3.1. Conceitos Básicos

A Teoria da Dependência, proposta em [CASTELFRANCHI'90], é descrita resumidamente neste capítulo, com base em [SICHMAN'03]. Essa teoria oferece respostas para duas questões fundamentais presentes numa sociedade de agentes autônomos:

1. **Problema da sociabilidade:** por que um agente autônomo participa de interações sociais?
2. **Problema da adoção:** de que maneira um agente consegue tornar o seu problema social, ou seja, um problema que possa ser tratado por outros agentes?

A primeira pergunta é respondida pelo conceito de **dependência social**, enquanto a segunda requer o conceito de **poder social**.

O conceito de *dependência social* considera que um agente *ag1* é *socialmente dependente* de um agente *ag2* quando *ag1* não é capaz de realizar nenhuma ação para conseguir um dos seus objetivos, ao passo que *ag2* é capaz de realizar tal ação. Por outro lado, pode-se dizer que o agente *ag2* detém um certo *poder social* sobre *ag1*, pois pode impedi-lo de atingir seus próprios objetivos, caso decida não cooperar.

Para compreender melhor esses conceitos, é preciso introduzir o conceito de ação social [SICHMAN'03]. Num ambiente onde coabitam os dois agentes *ag1* e *ag2*, sendo que *g1* é um dos objetivos de *ag1*, podem-se distinguir as seguintes ações sociais de *ag1* e *ag2*:

- **exploração:** se *ag2* também tiver o objetivo *g1* e já estiver realizando uma ação para atingi-lo, basta que *ag1* espere *ag2* realizar a sua ação;
- **influência:** caso a competência de *ag1* não seja suficiente para atingir *g1*, *ag1* pode tentar convencer *ag2* a adotar esse objetivo;

- **agressão:** caso ag2 possua um outro objetivo g2 conflitante com g1, ag1 pode tentar impedir ag2 de atingi-lo;
- **adoção:** se, por alguma razão, ag2 deseja que ag1 atinja o seu objetivo g1, ele pode adotar esse objetivo.

Uma consequência fundamental dessa teoria é a ampliação dos objetivos atingíveis por um determinado agente. O próprio conceito de autonomia adquire um novo significado, sendo que um agente *deixa de ser autônomo* para atingir um determinado objetivo quando for dependente de um outro agente.

De maneira resumida, a Teoria da Dependência diz que o agente ag1 deve encontrar o melhor modo de delegar a ag2 a ação de que necessita, garantindo que esta será realizada por ag2 e que este último esteja consciente de que a realiza para que ag1 alcance o seu objetivo. Assim, ag1 pode tentar um mecanismo de raciocínio social para realizar uma ação de influência: convencer ag2 a adotar o objetivo de realizar essa determinada ação para que ag1 alcance o seu objetivo.

Uma possibilidade é oferecer a ag2 a realização de alguma ação em troca, seja para atingir o mesmo objetivo, seja para atingir outro objetivo de ag2. No primeiro caso, diz-se que ocorre uma **cooperação** entre ag1 e ag2, e no segundo caso, que ocorre um **escambo social** entre eles.

A dependência social existente entre ag1 e ag2 pode ser unilateral, quando ag1 depende de ag2, mas este não depende do primeiro; ou bilateral, quando a dependência acontece dos dois lados, ou seja, ag2 também depende socialmente de ag1.

No caso de uma dependência bilateral, pode haver uma relação **mútua**, quando os dois agentes têm o mesmo objetivo, ou **recíproca**, quando os agentes têm objetivos diferentes.

Mediante um mecanismo de raciocínio social, os agentes cognitivos podem ser beneficiados nos seguintes aspectos [SICHTMAN'95]:

- melhorar a sua **capacidade de adaptação** a mudanças no ambiente, no contexto de SMA abertos;
- avaliar a suscetibilidade de outros agentes a adotarem os seus objetivos e, conseqüentemente, melhorar o desempenho do processo de **formação de parcerias**;
- auxiliar na **detecção e revisão de crenças** a respeito dos outros agentes, de modo a manter uma coerência dessa informação.

Dessa forma, um mecanismo de raciocínio social permite que um agente que não seja autônomo para um determinado objetivo pesquise as ações, planos e objetivos dos outros, utilizando-os como recursos para atingir seu objetivo [SICHTMAN'94a].

3.2. Redes de Dependência

As relações de dependência de um agente, depois de calculadas, podem ser representadas em uma estrutura chamada **rede de dependência** [SICHTMAN'94b]. A rede é uma representação gráfica, para um agente, dos seus objetivos, planos, ações e os agentes que são capazes de realizá-las, demonstrando visualmente as relações de dependência do agente (Figura 3.1).

Figura 3.1 Rede de Dependência [SICHMAN'02]

As relações de dependência podem ser ainda aditivas ou alternativas [CASTELFRANCHI'98]. Observa-se, nas redes de dependência, que existem casos em que uma determinada ação pode ser realizada por mais de um agente. Esse tipo de dependência é denominado **OR-dependence**.

Um agente **ag1** OR-depende de um conjunto de agentes AG quando **ag1** depende de **qualquer** um dos agentes de AG para realizar a mesma ação. Nesse caso, **ag1** pode escolher qualquer agente de AG para realizar a ação em seu lugar [SICHMAN'02]. Na Figura 3.1, **ag1** pode escolher entre **ag6** e **ag7** para delegar a ação **a7**, necessária para atingir o objetivo **g8**.

Quando um determinado plano exige mais de uma ação para ser concluído, o agente envolvido pode depender simultaneamente de vários outros agentes para aplicar esse plano, caracterizando uma **AND-dependence**.

Um agente **ag1** AND-depende de um conjunto de agentes AG quando **ag1** depende dos agentes do conjunto para atingir um determinado objetivo seu, executando ações de um mesmo plano que atinja esse objetivo [SICHMAN'02]. Nota-se que essa relação de dependência é mais forte do que a OR-dependence, pois o agente precisa de cada um dos agentes do grupo para realizar o seu objetivo. Na mesma figura, caso utilize o plano **p111** para atingir o objetivo **g1**, **ag1** dependerá de

três agentes. Para realizar a ação a2, ele pode optar por ag2 ou ag3, e, para a ação a4, terá de escolher ag4.

Na formação da rede de dependência, também é possível definir outros tipos de dependência específica, além das duas citadas [SICHMAN'94b]:

- **PLAN-dependence**: ocorre quando um determinado agente ag1 depende de um grupo AG de agentes capazes de realizar ações contidas em um dos planos associados a um determinado objetivo de ag1;
- **GOAL-dependence**: ocorre quando o agente ag1 depende de um conjunto AG de agentes capazes de realizar ações contidas em todos os planos para atingir um dos objetivos de ag1.

Essas definições são recursivas, conforme mostrado em [SICHMAN'94b] e ilustrado na Figura 3.2:

- uma **GOAL-dependence** pode ser definida como um conjunto de PLAN-dependences para um mesmo **objetivo**;
- uma **PLAN-dependence** pode ser definida como um conjunto de AND-dependences para um mesmo **plano**;
- uma **AND-dependence** pode ser definida como um conjunto de OR-dependences para uma mesma **ação**.

A própria rede de dependência de um determinado agente é caracterizada de forma recursiva pelo conjunto de suas **GOAL-dependences**.

Figura 3.2 Tipos de dependência em uma rede [SICHMAN'02]

3.3. Grafos de Dependência

As redes de dependência funcionam muito bem para representar as relações de dependência de um único agente. Quando existem dependências circulares na sociedade, ou seja, quando vários agentes dependem uns dos outros **mútua ou reciprocamente**, a estrutura fica muito complexa, dificultando sua utilização.

Tal dificuldade ocorre porque surge a necessidade de representar a existência de **ciclos**, que não são permitidos em uma estrutura de árvore, e são mais bem representados pela utilização de **grafos**.

O **grafo de dependência** é um grafo orientado com as seguintes propriedades [SICHMAN'03]:

1. o conjunto de vértices é formado pela união de 4 (quatro) subconjuntos disjuntos de vértices (também chamado de grafo quadripartite), que representam agentes, objetivos, planos e ações.
2. o conjunto de arestas liga os vértices nas seguintes condições:
 - (a) o vértice que representa o agente ag_i é ligado ao vértice que representa o objetivo g_j apenas se o agente tiver esse objetivo;

- (b) o vértice que representa o objetivo g_j é ligado ao vértice que representa o plano p_n apenas no caso da execução¹ desse plano atingir esse objetivo;
- (c) o vértice que representa o plano p_n é ligado ao vértice que representa a ação a_m apenas se essa ação for necessária para a realização do plano e o agente que se encontra na raiz do caminho a que pertence essa aresta não souber realizar essa ação;
- (d) o vértice que representa a ação a_m é ligado ao vértice que representa o agente ag_s apenas se este for capaz de realizar essa ação.

Na Figura 3.3 podemos observar um exemplo de grafo de dependência para visualizar o modelo. Nesse exemplo, baseado na rede de dependência apresentada na seção 3.2, o agente $ag1$ tem dois objetivos, $g1$ e $g8$; para o objetivo $g1$, por exemplo, existem dois planos: $p111$ e $p112$; o plano $p111$ necessita das ações $a2$ e $a4$; a ação $a2$ pode ser realizada por $ag2$ ou $ag3$; o agente $ag2$, por sua vez, tem um objetivo $g2$, que pode ser atingido através do plano $p22$, que necessita somente da ação $a6$, que pode ser realizada pelo agente $ag6$, que tem um objetivo $g6$, que pode ser atingido pelo plano $p66$, que necessita de $a1$, que pode ser realizada pelo agente $ag1$ do início.

Figura 3.3 Grafo de dependência [SICHTMAN'02]

¹ Supondo-se que a execução do plano ocorra de forma correta.

O grafo de dependência, no entanto, não representa bem visualmente sociedades grandes, pois a quantidade de arestas e caminhos cresce rapidamente.

Impondo certas restrições, é possível conceber uma versão simplificada do grafo de dependência. Se cada agente puder atingir um único objetivo, utilizando um único plano para isso, os vértices que representam os objetivos e planos desaparecerão do grafo, resultando numa versão mais simplificada. O objetivo para o qual o agente necessita de ações é agora colocado como um rótulo da aresta que liga o agente às ações necessárias. Um exemplo contendo o grafo anterior simplificado pode ser observado na Figura 3.4.

Figura 3.4 Grafo de dependência simplificado [SICHMAN'02]

Uma outra possibilidade para facilitar a visualização dos grafos de dependência mais complexos é utilizar formas e cores diferentes para os vértices. Também é possível expressar, nas arestas dos grafos de dependência completos, um valor para o custo subjetivo das ações que cada agente realiza, e um valor que representa a importância subjetiva dos objetivos para um determinado agente.

O grafo de dependência, com a sua grande capacidade de expressão, permite observar visualmente as possíveis parcerias que podem surgir em uma sociedade de múltiplos agentes, possibilitando também o uso de algoritmos computacionais para calcular ciclos de menor custo, ou obter outras relações a partir do grafo. Tal fato será melhor ilustrado na seção 6.2, onde se exhibe a implementação realizada utilizando essa teoria.

No próximo capítulo, será descrito o sistema PART-NET, um simulador baseado em multiagentes que calcula a emergência de parcerias entre dois agentes, baseado na Teoria da Dependência.

4. O SISTEMA PART-NET

4.1. Introdução

O simulador PART-NET foi desenvolvido utilizando recursos de MABS para mostrar como são formadas parcerias entre duplas de agentes cujas estratégias de escolha de objetivos fossem heterogêneas [CONTE'98].

Esse simulador buscava comprovar, por meio de uma técnica de simulação, uma teoria social sobre a importância da existência de agentes com diferentes estratégias numa sociedade que contém agentes capazes de realizar ações, que têm uma série de objetivos individuais e que podem ocasionalmente estabelecer parcerias para atingir tais objetivos. A intenção era estudar como essas parcerias se estabelecem de acordo com as diferentes distribuições de agentes que utilizam três estratégias distintas, detalhadas mais à frente.

O PART-NET tem como objetivo reforçar a distinção entre duas visões a respeito da racionalidade: a **substancialista**, em que os objetivos finais têm relevância, e a **utilitarista**, em que os objetivos finais não têm importância.

O PART-NET trata de parcerias entre agentes heterogêneos em um ambiente comum, lidando exclusivamente com dependência recíproca, portanto com relações de escambo e não de cooperação, conforme explicado na seção 3.1.

4.2. Descrição

O PART-NET utiliza uma arquitetura bastante simples para os agentes, que contém, basicamente:

- um **conjunto de objetivos**, definidos pelo seu estado (0 para ativo, 1 para concluído), o seu tipo e uma prioridade (um valor subjetivo; quanto menor, mais alta a prioridade);

- um **conjunto de ações**, constando de seu estado (0 para disponível e 1 para já utilizada), o tipo do objetivo que cada ação satisfaz e um custo (subjetivo) para essa ação, sendo que cada uma atinge um objetivo numa relação um para um;
- o **conhecimento** sobre as relações de dependência existentes, em particular a respeito das dependências bilaterais;
- uma **estratégia** de tomada de decisões, de acordo com o tipo do agente.

Existem três tipos básicos de estratégias para agentes no PART-NET:

- **utilitaristas** (ou instrumentalistas), para agentes que tentam maximizar a diferença entre o benefício (objetivos atingidos) e os custos;
- **substancialistas** (ou hedonistas), para agentes que não se importam com os custos, mas sim com a ordem de prioridade dos seus objetivos;
- **avaros**, para agentes que ordenam as alternativas de parceria de forma a minimizar os seus custos.

Numa perspectiva fortemente econômica, os substancialistas são menos racionais do que os utilitaristas. Em um ambiente social (ou biológico, ou mesmo político), no entanto, o ser humano não tenta apenas maximizar a sua função utilidade: em vez disso, ele busca atingir objetivos. No máximo, a tomada de decisão baseada na utilidade é um dos fatores a ser considerados na hora de regular a solução de problemas e o planejamento, interagindo com outros princípios. Tais princípios, como a formação de intenções, a tomada de decisões, o planejamento e a realização de ações, são ativados para atingir objetivos, possivelmente **enquanto** se maximiza a função utilidade [CONTE'98].

De todos os tipos de relacionamentos sociais vistos no capítulo 3, no PART-NET são consideradas apenas as relações de dependência **recíprocas**. Assim, o

melhor parceiro, para o substancialista, é aquele que cumpre o seu objetivo mais valioso a qualquer custo. Já para o utilitarista, o melhor parceiro é aquele que maximiza a diferença entre seu objetivo mais valioso e o menor custo da ação. Para os avaros, basta promover o menor custo, qualquer que seja o benefício.

É importante notar que o sistema considera que os agentes só têm objetivos ou ações para os quais não são auto-suficientes, ou seja, no modelo do PART-NET, um agente jamais terá um objetivo e uma ação do mesmo tipo.

4.3. Funcionamento

No início da simulação, é gerada uma lista de possíveis parceiros (PML), e a simulação se dá por sucessivos processamentos dessa lista, removendo parcerias bem-sucedidas e inválidas.

Figura 4.1 Ciclo de simulação do PART-NET

Conforme mostrado na Figura 4.1, a cada ciclo da simulação, a PML é percorrida, e as parcerias desejadas de cada agente são removidas e colocadas numa outra lista, a EML (lista de parcerias efetivas). As incompatibilidades resultantes (um agente é relacionado com mais de um parceiro) são então removidas (o agente comum irá escolher qual o parceiro), enquanto as outras parcerias serão canceladas, retornando para a PML. No final do ciclo, são removidas da PML todas as

ocorrências de agentes que já realizaram ações, pois no modelo do PART-NET cada agente só pode realizar uma ação por ciclo.

As parcerias são executadas simultaneamente a cada ciclo da simulação, sendo que a estrutura dos agentes, se necessário, é modificada, e finalmente são computados os custos e benefícios. A simulação termina quando não houver mais parcerias possíveis.

4.4. Interface

O simulador utiliza uma interface gráfica bastante simples (Figura 4.2), recebendo a entrada de parâmetros da simulação por meio de arquivos texto. A saída também é feita por meio de um arquivo texto, como se pode observar na Figura 4.3.

Figura 4.2 Interface principal do PART-NET (em italiano)

Figura 4.3 Resultados da simulação

Assim, mesmo com uma interface simples, o simulador PART-NET permite que as hipóteses apresentadas sejam testadas de maneira procedimental, tornando possível analisar as modificações na estrutura de cada agente a cada ciclo de simulação. Esse estudo permitiu avaliar quais das estratégias abordadas se mostram mais adequadas em cada situação.

4.5. Resultados

Em princípio, o resultado esperado é que os substancialistas tenham o maior ganho bruto, enquanto os utilitaristas tenham o maior ganho líquido, e os avaros, os menores custos. Em segunda instância, espera-se que os substancialistas se comportem de maneira menos flexível que os utilitaristas. Estudos anteriores no sistema MICROdep [VENEZIANO'96] mostraram que os substancialistas obtêm resultados comparáveis aos dos utilitaristas apenas em grandes populações, justamente porque os substancialistas não são indiferentes ao contexto; quanto mais agentes, maior a chance de eles encontrarem um parceiro ideal. Entretanto, em outros estudos, as duas estratégias se mostraram igualmente benéficas em ambientes com grandes populações [CONTE'97].

Assim, definem-se as seguintes hipóteses experimentais:

H1. Em sociedades homogêneas, os utilitários devem ter um ganho líquido acumulado maior que o dos substancialistas e avaros.

H2. Em sociedades homogêneas, os substancialistas obtêm melhores resultados quando há um maior número de objetivos por agente na sociedade.

Confirmando a hipótese H2, os substancialistas se beneficiam mais quando há mais objetivos na sociedade, o que pode ser observado na Figura 4.4.

As Figuras 4.3 a 4.7 foram extraídas de [CONTE'98], onde se utilizam os termos “hedonists” para se referir aos substancialistas, “utilitarians” para os utilitários, e “niggards” para os avaros.

(benefício líquido x número de objetivos)

Figura 4.4 Resultados do PART-NET com um número crescente de objetivos [CONTE'98]

Além disso, os substancialistas se mostram menos flexíveis do que os utilitaristas, pois precisam de uma população maior para conseguir o mesmo benefício líquido, como mostra a Figura 4.5.

(benefício líquido x número de agentes)

Figura 4.5 Resultados do PART-NET com um número crescente de agentes [CONTE'98]

Considerando as sociedades homogêneas, de acordo com a hipótese H1, os utilitaristas obtêm melhores resultados do que os substancialistas e avaros, observável na Figura 4.6.

Figura 4.6 Resultados do PART-NET em sociedades homogêneas [CONTE'98]

No entanto, em sociedades heterogêneas, os substancialistas acabam superando os utilitaristas, como se pode ver na Figura 4.7, e, mais interessante ainda, o ganho médio da sociedade aumenta em comparação com o das sociedades homogêneas, ilustrado na Figura 4.8.

Figura 4.7 Resultados do PART-NET em sociedades heterogêneas [CONTE'98]

Figura 4.8 Comparação da média dos heterogêneos com os homogêneos [CONTE'98]

Com isso, podem-se definir duas novas hipóteses experimentais que se mostram verdadeiras através da simulação.

H3. Em sociedades heterogêneas, os substancialistas acabam superando os utilitários em termos de ganho líquido acumulado (visto na Figura 4.7).

H4. Em sociedades heterogêneas, o ganho acumulado é maior do que a média dos ganhos acumulados de sociedades homogêneas (visto na Figura 4.8).

Assim, ao utilizar o PART-NET, um sistema que executa parcerias entre agentes heterogêneos, foi possível comparar as diferentes estratégias de escolha utilizadas pelos agentes.

Embora a estratégia dos substancialistas tenha se provado a menos flexível, ela também se mostrou a menos anti-social e, portanto, mais conveniente em uma sociedade com múltiplas estratégias. Os substancialistas são mais requisitados do que os outros e com isso proporcionam mais parcerias na sociedade.

4.6. Limitações

Apesar de sua utilidade como ferramenta de simulação em MABS, o PART-NET não foi projetado com o objetivo de ser reutilizado, mas sim como solução pontual para um problema determinado.

Ao analisá-lo, podem-se observar certas limitações com relação à sua funcionalidade e ao seu modo de operação.

O sistema tem uma interface com o usuário pouco desenvolvida, levando-se em conta que ele não foi criado para ser usado em larga escala, mas apenas pelos próprios pesquisadores que o estavam concebendo.

A arquitetura de agentes utilizada também é bastante simples, servindo perfeitamente para demonstrar as teorias sociais cujas hipóteses o programa visa validar. Entretanto, o modelo se mostra insuficiente para teorias mais complexas, principalmente pela ausência da capacidade de representar planos e parcerias simultâneas com múltiplos agentes.

Dessa forma, foi possível estabelecer um conjunto de melhorias possíveis a serem realizadas no PART-NET, de modo a torná-lo um simulador mais útil e abrangente. As melhorias podem ser divididas em duas frentes principais: **extensões operacionais** e **extensões funcionais**.

As extensões **operacionais** propostas são as seguintes:

- **Reengenharia:** Redesenhar o algoritmo principal do PART-NET para obter um melhor desempenho, e reescrever o programa utilizando uma linguagem de programação mais moderna por meio de metodologias consagradas de projeto de software (UML);
- **Interface Gráfica:** Desenvolver uma interface com o usuário simples e adequada, que possa ser utilizada com facilidade por usuários não-programadores;
- **Resultados Gráficos:** Permitir gerar, em qualquer ponto da simulação, um gráfico que exiba com precisão os resultados da simulação.
- **Gerador Randômico de Sociedades:** Permitir a geração de massas de dados para simular com bastante rapidez, seguindo uma regra de criação simples;
- **Leitura e gravação da simulação usando a linguagem XML:** Facilitar a troca de arquivos entre a comunidade e permitir que se salve o resultado da simulação em pontos críticos para possibilitar a continuação em outro momento.

As extensões **funcionais** propostas são as seguintes:

- **Planos:** Aprimorar a arquitetura dos agentes com o formalismo de planos, tornando o simulador mais abrangente e permitindo parcerias com mais de um agente simultaneamente;

- **Grafo de Dependência:** Utilizar grafos de dependência para disponibilizar toda uma gama de ferramentas matemáticas que permitem encontrar parcerias com mais agilidade, além de facilitar ainda mais a visualização dos relacionamentos em pequena escala;
- **Algoritmo de Busca de Parcerias com Múltiplos Agentes:** Desenvolver um algoritmo eficiente de busca de parcerias de acordo com a estratégia dos agentes, utilizando como base o grafo de dependência.

Dessa forma, no capítulo 5, as extensões operacionais são discutidas em maior detalhe, analisando sua implementação no PartNET+. No capítulo 6, serão exploradas as extensões funcionais, implementadas no PartNET++.

5. EXTENSÕES OPERACIONAIS: PARTNET+

5.1. Reengenharia

Para aprimorar o PART-NET, seria necessário remodelá-lo, utilizando técnicas de programação mais recentes, adequadas ao paradigma de programação atual.

Analisando o código fonte original, foi possível entender e visualizar as diversas etapas da simulação, identificando uma hierarquia de objetos que representam as diversas entidades presentes na simulação. Posteriormente, elaborou-se um diagrama de classes no formato UML¹, de modo a possibilitar o desenvolvimento do novo software, utilizando a linguagem Java. O protótipo resultante desse processo foi denominado PartNET+ [MONTEIRO'03].

Comparado com seu antecessor, o PartNET+ possui uma interface gráfica mais requintada e útil e foi desenvolvido utilizando técnicas de projeto e modelagem de software mais atualizadas, de modo a facilitar o desenvolvimento de novas versões.

O algoritmo central consiste em processar uma lista de parcerias possíveis (PML) e selecionar as mais adequadas para cada agente, de acordo com a sua estratégia (utilitarista, substancialista ou avaro). As parcerias selecionadas são transferidas então para a lista das parcerias efetivas (EML).

Uma vez selecionadas as parcerias desejadas pelos agentes, poderá haver conflitos de interesse, resultando na formação de parcerias recíprocas com mais de um agente. Nesse caso, o agente cuja ação é solicitada pelos outros (agindo como detentor de recurso) escolhe a parceria mais conveniente e cancela as outras. Como no software original, um agente só pode realizar uma única ação por ciclo. Assim, algumas parcerias são removidas da EML e enviadas de volta para a PML.

¹ O conjunto desses diagrams, bem como o código fonte e binaries encontram-se no CD em anexo.

A cada ciclo, as parcerias que estão na EML são realizadas. A simulação termina quando não há mais parcerias na PML a serem realizadas.

```
# PASSO 1: encontrar as dependências recíprocas
para cada dependência M na sociedade:
    para cada dependência N na sociedade:
        se M é a recíproca de N:
            adicionar (M,N) às escolhas do dependente
            adicionar (M,N) às escolhas de fornecedor
            adicionar (M,N) à PML

# PASSO 2: Escolha das parcerias
para cada agente randomicamente:
    lEscolhas = agente.obterEscolhas()
    lEscolhas = lEscolhas.ordenarPorEstratégia(agente)
    para cada parceria em lEscolhas:
        se a parceria puder acontecer:
            mover parceria da PML para EML

# PASSO 3: resolver conflitos
para cada agente:
    lPar = parcerias relacionadas com o agente
    se lPar tiver mais de uma parceria:
        ordenar lPar de acordo com a estratégia
        para cada parceria de lPar:
            se a parceria puder acontecer:
                remover a parceria de lPar
                mover as outras parcerias em lPar da EML para PML

# PASSO 4: executar escolhas
para cada parceria em EML:
    realizar(parceria)

# PASSO 5: remover parcerias impossíveis
para cada parceria em PML:
    se a parceria não puder mais acontecer:
        remover a parceria da PML
```

Figura 5.1 Algoritmo do PartNET+

O algoritmo central do PartNET+, resumido na Figura 5.1, pode ser explicado da seguinte maneira:

1. Inicialmente, as duas listas PML e EML estão vazias. Todas as relações de dependência da sociedade são verificadas duas a duas, e as parcerias recíprocas encontradas são inseridas na PML;
2. Em ordem aleatória, cada agente reordena a PML de acordo com a sua estratégia e coloca na EML a primeira parceria da lista reordenada que puder ser realizada;
3. Cada agente que tiver mais de uma parceria relacionada na EML tem o direito de escolher a que melhor lhe convier da lista e descartar as demais, removendo-as da EML;

4. As escolhas remanescentes são então executadas, gerando benefícios e custos para os agentes;
5. Após a realização das parcerias, as outras parcerias que ainda estão na PML tornam-se inválidas e devem ser removidas da PML. Se ainda houver parcerias a serem realizadas na PML, retorna-se ao passo 2.

Não havendo mais parcerias disponíveis, a simulação é encerrada e se apresenta um resumo da simulação, contendo os resultados obtidos. Nesse momento são exibidos os gráficos da simulação, representando o benefício líquido acumulado, o benefício líquido médio e o desvio padrão do benefício líquido, todos em função dos ciclos de simulação.

Para avaliar quais parcerias recíprocas são mais adequadas, os agentes utilizam as suas estratégias. Assim, um substancialista escolhe a parceria cujo valor subjetivo de um objetivo é maior; um utilitarista seleciona aquela cuja diferença entre o valor do objetivo e o custo da ação a ser realizada é maior; um avaro escolhe aquela cujo custo das ações a serem realizadas seja menor, não importando o valor do objetivo.

5.2. Interface Gráfica

No PartNET+, a intenção foi criar uma interface gráfica que pudesse ser utilizada por cientistas sociais que não fossem programadores especializados, isto é, a interface deveria ser intuitiva e prática, de fácil acessibilidade e manuseio.

Além disso, mediante uma saída gráfica e visual, é mais fácil interpretar o resultado de uma simulação e tomar decisões a respeito das hipóteses experimentais. Para um exemplo da interface, veja a Figura 5.2.

The screenshot shows the PartNet+ application window. It has a menu bar (File, Agent, Society, Simulation, Help) and a toolbar with icons for file operations, simulation control, and help. Below the toolbar is a large table displaying data for 29 agents (a0U to a29M). The table has 8 columns: Name, Goals, Actions, Strategy, Benefit, Cost, Net, and Goals ok. Each row represents an agent's performance across these metrics. For example, agent a0U has a Utilitarian strategy, a benefit of 0/1065, and 0/20 goals ok. Agent a29M has a Miser strategy, a benefit of 0/1157, and 0/20 goals ok.

Name	Goals	Actions	Strategy	Benefit	Cost	Net	Goals ok
a0U	(14), (8), (7), (4), (6), (0), (19), (16), (5), (...)	[14], [7], [4], [3], [1], [18], [9]	Utilitarian	0/1065	0	0	0/20
a1U	(10), (12), (5), (18), (4), (1), (19), (16), (13)...	[19], [13], [15], [8], [4], [17], [11]	Utilitarian	0/869	0	0	0/20
a2U	(15), (8), (0), (2), (4), (18), (12), (19), (16)...	[18], [16], [10], [12], [2], [7], [11]	Utilitarian	0/958	0	0	0/20
a3U	(3), (1), (8), (13), (15), (10), (17), (16), (0)...	[16], [0], [14], [17], [7], [11], [6]	Utilitarian	0/809	0	0	0/20
a4U	(14), (15), (2), (13), (7), (0), (11), (10), (17)...	[13], [18], [9], [2], [7], [0], [1]	Utilitarian	0/1204	0	0	0/20
a5U	(10), (15), (1), (19), (8), (2), (14), (16), (7)...	[4], [19], [8], [11], [3], [1], [0]	Utilitarian	0/1083	0	0	0/20
a6U	(10), (6), (17), (8), (18), (13), (12), (5), (3)...	[18], [9], [15], [5], [12], [8], [11]	Utilitarian	0/981	0	0	0/20
a7U	(6), (3), (9), (19), (13), (16), (10), (4), (5), ...	[5], [15], [0], [8], [1], [17], [6]	Utilitarian	0/1149	0	0	0/20
a8U	(6), (1), (16), (18), (19), (2), (4), (10), (5), ...	[13], [9], [5], [3], [15], [10], [2]	Utilitarian	0/1195	0	0	0/20
a9U	(13), (3), (2), (17), (14), (10), (9), (6), (7), ...	[7], [19], [12], [11], [18], [9], [16]	Utilitarian	0/1025	0	0	0/20
a10S	(12), (11), (6), (15), (19), (10), (17), (5), (1)...	[7], [2], [1], [19], [14], [16], [8]	Substantialist	0/665	0	0	0/20
a11S	(1), (8), (5), (14), (9), (11), (3), (4), (17), (...)	[16], [15], [14], [11], [18], [17], [7]	Substantialist	0/935	0	0	0/20
a12S	(19), (2), (1), (11), (16), (0), (18), (5), (7), ...	[2], [5], [4], [12], [16], [18], [19]	Substantialist	0/689	0	0	0/20
a13S	(11), (15), (12), (17), (9), (18), (1), (7), (19)...	[2], [5], [19], [14], [18], [12], [7]	Substantialist	0/667	0	0	0/20
a14S	(1), (14), (18), (9), (16), (5), (2), (8), (6), (...)	[4], [8], [15], [16], [12], [14], [19]	Substantialist	0/1178	0	0	0/20
a15S	(12), (8), (6), (11), (16), (10), (18), (7), (13)...	[13], [12], [16], [9], [2], [1], [0]	Substantialist	0/1177	0	0	0/20
a16S	(19), (9), (18), (7), (12), (13), (2), (5), (0), ...	[8], [4], [17], [7], [2], [9], [13]	Substantialist	0/1102	0	0	0/20
a17S	(17), (19), (13), (8), (7), (4), (12), (16), (3)...	[9], [19], [0], [1], [3], [16], [13]	Substantialist	0/991	0	0	0/20
a18S	(8), (14), (19), (6), (2), (0), (4), (18), (5), (...)	[9], [16], [12], [3], [2], [4], [11]	Substantialist	0/1129	0	0	0/20
a19S	(2), (9), (19), (17), (15), (7), (5), (0), (18), ...	[17], [11], [5], [0], [15], [1], [4]	Substantialist	0/890	0	0	0/20
a20M	(15), (6), (19), (11), (1), (13), (10), (17), (8)...	[15], [17], [4], [18], [9], [19], [10]	Miser	0/862	0	0	0/20
a21M	(11), (2), (10), (7), (8), (16), (13), (18), (14)...	[13], [5], [2], [0], [14], [3], [11]	Miser	0/1000	0	0	0/20
a22M	(7), (18), (2), (3), (12), (9), (5), (4), (18), (...)	[12], [15], [16], [13], [0], [9], [6]	Miser	0/1125	0	0	0/20
a23M	(17), (7), (1), (11), (12), (5), (4), (10), (18)...	[5], [12], [16], [1], [15], [9], [2]	Miser	0/978	0	0	0/20
a24M	(3), (15), (13), (17), (0), (10), (12), (14), (8)...	[19], [1], [11], [5], [8], [6], [17]	Miser	0/1204	0	0	0/20
a25M	(6), (5), (17), (14), (18), (19), (7), (13), (9)...	[14], [12], [13], [11], [18], [15], [10]	Miser	0/1068	0	0	0/20
a26M	(3), (9), (6), (13), (15), (18), (19), (14), (17)...	[12], [13], [5], [15], [3], [1], [10]	Miser	0/844	0	0	0/20
a27M	(14), (16), (11), (7), (15), (3), (4), (6), (8), ...	[6], [1], [4], [19], [2], [17], [14]	Miser	0/963	0	0	0/20
a28M	(13), (12), (15), (5), (2), (3), (0), (6), (4), (...)	[17], [12], [2], [14], [19], [18], [4]	Miser	0/909	0	0	0/20
a29M	(11), (14), (17), (13), (4), (5), (8), (7), (6), ...	[11], [1], [17], [16], [8], [18], [0]	Miser	0/1157	0	0	0/20

Figura 5.2 Interface Principal do PartNET+

A interface principal mostra diversas informações sobre a sociedade, agente por agente, exibindo o seu nome, objetivos, ações, estratégia, benefício total, custos e ganhos. Também é possível observar visualmente quais objetivos foram atingidos e quais ações foram utilizadas no decorrer da simulação (sinal de “+” ao lado da ação ou objetivo).

Ao clicar sobre cada agente, é possível editá-lo independentemente, alterando o seu nome, estratégia, objetivos e ações, como mostra a Figura 5.3.

Figura 5.3 Tela de edição de um agente

A simulação pode ser iniciada com o clique no botão **Run** (seta verde na Figura 5.2). Também é possível executar a simulação no modo passo-a-passo (botão **Step**, que tem uma seta com um arco) e analisar detalhadamente o que ocorre com cada agente. Pode-se, ainda, reinicializar a simulação usando o botão **Stop** (letra X vermelha).

Um arquivo de “log” (arquivo que contém informações para depuração) é gerado automaticamente com cada detalhe da simulação, desde a escolha de cada agente até a resolução de conflitos e o tempo de duração da simulação.

Esse arquivo pode ser analisado durante a execução da simulação por meio do inspetor da sociedade, que pode ser acessado no menu da sociedade, como ilustrado na Figura 5.4.

Figura 5.4 Inspetor da sociedade

No final da execução, é possível observar o resumo da simulação e obter informações sobre o benefício líquido médio, acumulado e o seu desvio padrão ao longo da simulação, como mostra a Figura 5.5.

Figura 5.5 Resumo da simulação

Assim, a interface gráfica do PartNET+ oferece vários novos recursos para o usuário, de forma que ele possa obter informações sobre a simulação durante sua execução, algo que era impossível no PART-NET.

5.3. Resultados Gráficos da Simulação

Além do resumo, é possível obter, imediatamente, e em qualquer ponto da simulação, três tipos de gráficos, que exibem o progresso da simulação com mais precisão. Estão disponíveis os gráficos de **Benefício Líquido Acumulado**, **Benefício Líquido Médio** e **Desvio Padrão do Benefício Líquido**, como mostra a Figura 5.6.

Figura 5.6 Exemplo de gráfico do benefício líquido acumulado do PartNET+

5.4. Gerador de Sociedades

Um outro recurso adicionado ao simulador PartNET+ é um gerador de sociedades aleatórias. Partindo de um conjunto pequeno de informações, é possível gerar sociedades de centenas de agentes em segundos, o que pode ser observado na Figura 5.7.

As informações necessárias são: número máximo de ações, número máximo de objetivos, número de ações por agente, número de objetivos por agente, quantidade de substancialistas, de utilitários e de avaros.

Random Society

Society Configuration

Max. number of Actions: 0

Max. number of Goals: 0

Agent Configuration

Actions per Agent: 0

Goals per Agent: 0

Population

Substantialists	0	0	%
Utilitarians	0	0	%
Misers	0	0	%

Ok

Figura 5.7 Gerador aleatório de sociedades

O gerador produz agentes com nomes descritivos que facilitam a observação dos resultados da simulação.

5.5. Arquivos XML

Um recurso importante adicionado ao simulador PartNET+ foi a capacidade de ler e gravar arquivos que representam a simulação na linguagem XML.

Com esse recurso, é possível compartilhar sociedades e salvar a simulação em momentos críticos, ou salvar simulações de grande porte com tempo de execução elevado para continuá-las em outro momento.

Um arquivo XML, em que a estrutura é importante, precisa ser validado de acordo com um modelo de documento pré-estabelecido. Para definir esse modelo, utiliza-se uma linguagem chamada DTD, que define todos os elementos e os respectivos atributos a ser considerados válidos em um arquivo XML, bem como a ordem e a quantidade em que devem aparecer. Para mais informações sobre o padrão XML e o DTD, ver [YERGEAU'04].

O DTD do arquivo XML utilizado no PartNET+ é descrito na Figura 5.8. Um exemplo de arquivo XML de uma sociedade pode ser observado no Anexo A.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE society [
<!ELEMENT society (generator?,agent+,pml?,eml?,charts?)>
<!-- simulation_time tem que estar no formato HH:mm:ss -->
<!ATTLIST society current_cycle CDATA #IMPLIED
                 simulation_time CDATA #IMPLIED
                 partnerships CDATA #IMPLIED>

<!ELEMENT generator EMPTY>
<!ATTLIST generator max_actions CDATA #REQUIRED
                   max_goals CDATA #REQUIRED
                   actions_per_agent CDATA #REQUIRED
                   goals_per_agent CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT agent (goal+,action+)>
<!ATTLIST agent name CDATA #REQUIRED
               strategy NMTOKEN #REQUIRED
               gross_benefit CDATA #IMPLIED
               total_cost CDATA #IMPLIED
               objectives_reached CDATA #IMPLIED>

<!ELEMENT pml (match)*>
<!ELEMENT eml (match)*>
<!ELEMENT charts (accumulated, mean, stdev)*>

<!ELEMENT goal EMPTY>
<!ATTLIST goal name CDATA #REQUIRED
              type CDATA #IMPLIED
              priority CDATA #REQUIRED
              status CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT action EMPTY>
<!ATTLIST action name CDATA #REQUIRED
                type CDATA #IMPLIED
                cost CDATA #REQUIRED
                status CDATA #REQUIRED>

<!-- part1 and part2 are agents-->
<!ELEMENT match EMPTY>
<!ATTLIST match part1 CDATA #REQUIRED
               part2 CDATA #REQUIRED
               p1_action CDATA #REQUIRED
               p1_goal CDATA #REQUIRED
               p2_action CDATA #REQUIRED
               p2_goal CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT accumulated (cycle*)>
<!ELEMENT mean (cycle*)>
<!ELEMENT stdev (cycle*)>

<!ELEMENT cycle EMPTY>
<!ATTLIST cycle
            s CDATA #REQUIRED
            u CDATA #REQUIRED
            m CDATA #REQUIRED
            t CDATA #REQUIRED>
]>

```

Figura 5.8 DTD do PartNET+

5.6. Conclusões

Todas as extensões operacionais propostas na seção 4.6 foram implementadas, permitindo tornar o software significativamente mais simples de utilizar, com uma interface mais acessível e resultados mais claros e diretos.

O desenvolvimento do PartNET+ foi um passo necessário para possibilitar a implementação das extensões funcionais também descritas na seção 4.6.

No próximo capítulo, é detalhada a segunda etapa deste trabalho, com o desenvolvimento do simulador PartNET++, que amplia significativamente o escopo de atuação do PART-NET. Em particular, o novo simulador permite modelar agentes mais complexos, com a introdução do conceito de planos, e observar relações mais intrincadas, envolvendo mais de dois agentes. O PartNET++ possui ainda alguns aprimoramentos de interface em relação ao PartNET+, para permitir a incorporação das novas funcionalidades e também melhorar sua usabilidade.

6. EXTENSÕES FUNCIONAIS: PARTNET++

6.1. Parcerias Simultâneas com Vários Agentes

A arquitetura original dos agentes do PART-NET, desenvolvida para ser simples e para provar um conceito, é uma limitação importante ao modelar relações de dependência mais complexas.

Para ampliar o escopo de atuação do simulador e tornar a descrição interna dos agentes mais completa, foi adicionado ao modelo o conceito de **plano**.

Um plano é definido como um conjunto de ações necessárias e suficientes para atingir o objetivo determinado para o próprio plano. Seguindo as noções de raciocínio social apresentadas em [SICHMAN'94b] e observando a arquitetura de agentes do PART-NET previamente explicada na seção 4.2, pode-se representar um plano p_n que atinge o objetivo g_m do agente, necessitando das ações $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ como:

$$p_n(g_m) = a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$$

Segundo [SICHMAN'94a], a descrição externa que um agente tem dos outros é composta pelo conjunto de seus objetivos, ações, recursos e planos. Porém, essa descrição é subjetiva, isto é, cada agente pode ter crenças distintas em relação às propriedades dos outros agentes.

Ainda assim, como simplificação, no modelo utilizado no PartNET++, existe apenas uma única descrição externa, que corresponde à visão do usuário do sistema e que é compartilhada por todos os agentes.

Nesse modelo, os planos também tornam as parcerias mais complexas, pois podem existir parcerias com vários agentes simultaneamente. No entanto, o algoritmo original do PART-NET não prevê a existência de parcerias desse tipo, e a adição dessa nova estrutura aumentaria significativamente a complexidade do

algoritmo, multiplicando as possibilidades de escolha e a formação de parcerias pela quantidade de planos de cada agente.

Com isso em mente, desenvolveu-se uma alternativa de algoritmo que poderia ser implementada pelo uso dos grafos de dependência [SICHMAN'02], apresentados na seção 3.3, o que tornou a tarefa de encontrar parcerias recíprocas um processo de busca de ciclos em um grafo direcionado.

6.2. Grafos de Dependência como Hipergrafos

Ao utilizar grafos para expressar relações de dependência, toda a flexibilidade dessa notação é disponibilizada para representar uma sociedade de agentes completa, com todos os relacionamentos intrínsecos possíveis.

As parcerias podem ser observadas visivelmente em um grafo, como ciclos. Dessa maneira, também é possível encontrá-las por meio de algoritmos computacionais.

Os grafos de dependência que foram introduzidos inicialmente em [SICHMAN'02], descritos na seção 3.3, podem ser analisados como hipergrafos quadri-partite, que contêm, em cada partição: agentes, objetivos, planos e ações, como mostrado na Figura 6.1.

Figura 6.1 Grafo de dependência como um hipergrafo

No exemplo mostrado nessa figura, ag1 necessita das ações a2 e a3 para atingir o objetivo g1, segundo o plano p1. O agente ag2, que pode realizar a2,

necessita da ação a_1 para atingir seu objetivo g_3 . Analogamente, o agente ag_3 , que é capaz de realizar a ação a_3 , precisa da ação a_6 para atingir seu objetivo g_4 . Assim, o agente ag_1 , capaz de realizar as ações a_1 e a_6 , pode eventualmente realizar uma parceria com os dois agentes ag_2 e ag_3 , para atingir seu objetivo g_1 .

Um hipergrafo [GALLO'92] é uma estrutura matemática que generaliza os grafos tradicionais, e tem se mostrado uma ferramenta valiosa para representar modelos em várias áreas da Computação e da Matemática Aplicada. Os hipergrafos são também conhecidos como grafos AND-OR.

Um *hipergrafo* pode ser definido como o par $H=(V,E)$, onde $V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ é o conjunto de vértices (ou nós), e $E=\{E_1, E_2, E_3, \dots, E_m\}$ para $i=1, \dots, m$ é o conjunto de hiperarestas, com $E_i=\{v_i, V_i\}$, e $V_i \subseteq V$. Em particular, quando $|V_i|=1$, para $i=1, \dots, m$, o hipergrafo é um grafo tradicional.

A função $y = c(e)$ para $\{e \in E \mid y \in \mathbf{Z}\}$, serve para se obter o peso de uma hiperaresta, como um número inteiro. Essa função é utilizada na representação de algoritmos de busca em hiperciclos.

Em outras palavras, em hipergrafos as hiperarestas conectam um vértice a um ou mais vértices. Quando uma hiperaresta está conectada a mais de um vértice, ela é chamada AND-aresta ou **hiperaresta**; caso contrário, é chamada de OR-aresta ou simplesmente **aresta**. Em geral, usa-se o prefixo “hiper” nesse contexto para diferenciar os termos de hipergrafos dos termos de grafos tradicionais. Assim, um hipercaminho é um caminho que leva em conta hiperarestas, e assim por diante.

Hipergrafos n -partite são grafos em que os vértices estão divididos em subconjuntos $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$, de forma que as arestas do hipergrafo levam os vértices de um conjunto para o próximo. No caso de haver ciclos, as arestas levam vértices do grupo V_n de volta para o grupo V_1 .

As noções de dependência descritas na seção 3.2 podem ser facilmente observadas em um grafo de dependência.

As estruturas chamadas de **GOAL-dependences** são o conjunto de todas as PLAN-dependences para um determinado objetivo do agente, exibidas na Figura 6.2.

Figura 6.2 GOAL-dependence em um hipergrafo

As **PLAN-dependences**, mostradas na Figura 6.3, são o conjunto de todas as AND-dependences que podem satisfazer um determinado plano do agente primário. Cada estrutura desse tipo dá origem a uma possível parceria.

Figura 6.3 PLAN-dependence em um hipergrafo

Uma AND-dependence, que aparece na Figura 6.4a, pode ser representada como um conjunto de OR-dependences que completa as ações necessárias para um determinado plano. Já as OR-dependences, na Figura 6.4b, são dependências simples ou caminhos no hipergrafo, partindo de um agente e levando a outro agente, passando pelo objetivo, pelo plano e pela ação escolhidos.

Figura 6.4 AND-dependence(a) e OR-dependence(b) em um hipergrafo

Num grafo de dependência, uma parceria pode ser definida como um hiperciclo, que conecta um agente *ag1* a si mesmo, satisfazendo uma OR-dependence ou uma AND-dependence. Esse agente, a partir do qual se calcula o ciclo, é chamado de **agente primário**; os agentes que ajudam o primário diretamente são chamados de **agentes secundários**; e todos os outros envolvidos na parceria são chamados de **agentes terciários**.

Quando um ciclo no hipergrafo satisfaz apenas a uma OR-dependence, essa parceria é denominada **OR-match**, ou parceria incompleta. Ela é chamada de incompleta por não ter todas as ações do plano de interesse do agente primário. Nesse caso, quando a parceria é realizada, implica um custo para o agente primário, porém ele não recebe benefício nenhum enquanto o plano não for concluído, no futuro (Figura 6.5).

Quando a parceria satisfaz a uma AND-dependence, é chamada de **AND-match**, ou parceria completa, que atende a todas as ações compreendidas no plano escolhido pelo agente primário (Figura 6.5).

Figura 6.5 AND-match e OR-match

De maneira similar às relações de dependência, pode-se dizer que uma AND-match é formada por OR-matches que satisfazem o mesmo plano.

Ao analisar a Figura 6.5, percebe-se que o agente **ag1** está realizando uma *AND-match* com os agentes **ag2**, **ag4**, **ag6** e **ag7**. O agente **ag2**, porém, está realizando uma *OR-match* com **ag6** e **ag1**, pois a ação **a1** do seu plano **p2** não está sendo realizada.

Nem sempre é possível encontrar parceiros para todas as ações de um plano escolhido na sociedade, pois algumas vezes não há agentes disponíveis para realizar uma determinada ação, ou então não existe nenhum agente que aceite realizar a

parceria. Isso pode ocorrer por não haver reciprocidade, ou mesmo se uma certa ação não tiver possíveis candidatos na sociedade para realizá-la.

6.2.1. Tolerância Social

Em determinados casos, para realizar uma parceria alguns agentes preferem realizar parcialmente um plano a perder a oportunidade de completá-lo no futuro. Esse tipo de agente está realizando OR-matches em vez de AND-matches.

Em geral, os agentes secundários, que não têm liberdade total de escolha (pois são os escolhidos), são mais suscetíveis a realizar OR-matches. Se houver a necessidade de todos os agentes compreendidos na parceria encontrarem parceiros para todas as ações dos seus planos escolhidos, isso implicará uma menor tolerância social, que ocasiona um número menor de parcerias.

Partindo do agente primário, denomina-se **intolerance** (intolerância) o número máximo de agentes que necessitam realizar AND-matches dentro de uma parceria com o agente primário, incluindo o próprio. Quanto maior o nível de *intolerance*, maior a complexidade do algoritmo de busca de parcerias, e maior o seu tempo de execução.

Na Figura 6.5, o nível de *intolerance* praticado na parceria entre **ag1** e os agentes secundários é 1, pois apenas o nível primário (**ag1**) está cumprindo todas as ações de seus planos.

6.2.2. Estratificação Social

Há casos em que um agente procura um intermediário para realizar uma parceria, uma vez que não tem nada a oferecer diretamente ao parceiro, mas pode oferecer os serviços de um terceiro, e receberá algo em troca do primeiro agente.

O número máximo de agentes participantes de uma OR-match além do primeiro é chamado de **stratification** (estratificação), e é um fator importante a considerar na simulação, pois pode aumentar consideravelmente o tempo de execução do algoritmo de busca de parcerias.

Na Figura 6.5, a parceria iniciada em **ag1** tem o nível de *stratification* de 2, pois permite que os agentes secundários **ag2** e **ag4** terceirizem a realização das suas ações para **ag1**, respectivamente para os agentes terciários ag6 e ag7.

6.3. Algoritmo de Formação de Parcerias Utilizando Múltiplos Agentes

6.3.1. Problema da Busca do Menor Hiperciclo

No PartNET++, para encontrar as OR-matches e AND-matches mais favoráveis para cada agente, é preciso fazer uma busca heurística no grafo de dependência para localizar o hiperciclo de menor custo, partindo do vértice do agente primário.

O custo do hiperciclo é dado em função do agente primário, e não leva em conta todas as arestas do hiperciclo, bastando saber o benefício líquido da AND-dependence ou OR-dependence do agente primário.

É possível calcular o custo, a importância e o benefício líquido de cada OR-dependence, bastando avaliar as suas arestas. O **custo** é obtido com base no peso da aresta ação-agente ($c(a_{pj})$), sendo esse valor sempre negativo; a **importância** é dada pelo peso da aresta agente-objetivo ($c(g_{agi})$), sendo um valor sempre positivo; e o **benefício líquido** ($B(ag_i)$) é calculado então pela fórmula:

$$B(ag_i) = c(g_{agi}) + c(a_{pj}) \quad (6.1)$$

Para uma AND-dependence, composta de OR-dependences para o mesmo plano, o objetivo não muda, e por consequência a importância é a mesma. Entretanto, o custo é dado pela **somatória** de todos os custos das OR-dependence participantes, portanto o benefício líquido (importância menos o custo total) também é alterado.

Já as PLAN-dependences não possuem custos definidos, pois os parceiros ainda não foram escolhidos. Para essas estruturas, trabalha-se com o **custo mínimo**, que é dado pelo menor custo entre todas as AND-dependences que pertençam a ela.

$$CM(p_j) = \sum_{i=1}^n \min(c(a_i)) \quad (6.2)$$

Sendo n o número de ações necessárias para p_j .

Também se pode definir, da mesma maneira, o **benefício máximo** de uma PLAN-dependence, dado pela fórmula:

$$BM(p_j) = c(g_{ag_i}) + CM(p_j) \quad (6.3)$$

As GOAL-dependences funcionam de maneira semelhante às PLAN-dependences, trabalhando com o custo mínimo e o benefício máximo das PLAN-dependences nela contidas.

Os custos das outras arestas de ação ou de objetivo dos agentes secundários não influenciam no custo do hiperciclo para o agente primário.

Se o custo da ação for maior que a importância do objetivo, o benefício terá um valor negativo, o que significa que o agente perde se for realizada uma parceria, mediante aquela OR-dependence.

É interessante observar que, em certos casos, um agente, quando não tem escolha, ainda prefere realizar uma parceria em que não obtém nenhum benefício a perder a oportunidade. Esse é o caso quando estão diminuindo as ações disponíveis na sociedade e um agente é escolhido para uma parceria.

Numa primeira análise, esse fato pode negar a noção de racionalidade; no entanto, observando com mais cautela, pode-se visualizar um modelo de exploração social, mesmo pela dependência recíproca. Os lados têm interesse em cooperar, mas, para um deles, o interesse é menor do que o benefício.

No modelo adotado, o agente que escolhe o parceiro desfruta de uma grande vantagem, pois, se o parceiro escolhido não tiver opções, precisará realizar a parceria, mesmo que não lhe seja benéfica.

Figura 6.6 Hiperciclo para ag1

Por exemplo, na sociedade da Figura 6.6, o benefício máximo da GOAL-dependence, com uma única AND-dependence, para o objetivo g1 de ag1 que segue o plano p1, aplicando (6.3), é dado por:

$$BM(p1) = c(g1) + c(a1) + c(a8) = 66 + (-23) + (-13) = 33$$

Entretanto, para o agente ag2, que foi escolhido por ag1, o benefício de seu plano p2, por intermédio de (6.3), tem como resultado um valor negativo:

$$BM(p2) = c(g2) + c(a2) = 37 + (-56) = -19$$

Como ag2 não tem opção e já foi escolhido, terá de arcar com a perda.

Para ag1, não importa quanto ganharam os agentes ag6 e ag7 (agentes terciários), pois a sua estratégia só permite avaliar os custos e benefícios de suas próprias ações, objetivos e planos.

Para amenizar esse efeito e reduzir os valores negativos, foi convencionado que a importância mínima de um objetivo tem o valor de 1000, e a máxima, de 2000. Já as ações têm custos que variam entre 0 e 1000. As sociedades geradas aleatoriamente contêm ações com custo máximo em função da quantidade de ações por plano.

É importante ressaltar que essa convenção não tem nenhuma influência sobre os resultados do simulador, uma vez que o custo e a importância são valores subjetivos. O único motivo para promover essa alteração é mover a faixa de resultados para além dos números negativos, para facilitar a análise.

Continuando a análise do hipergrafo, é possível notar que a quantidade máxima de agentes que podem ser visitados no ciclo é determinada pelo parâmetro **stratification** da simulação.

Como o custo do hiperciclo como um todo só depende do custo das AND-dependences do agente primário, não podem ser usados os algoritmos tradicionais de busca do menor caminho, como o Problema do Carteiro Chinês (CPP) [THIBLEBY'03], as Redes de Steiner [CHARIKAR'98] e o algoritmo de Dijkstra [HOPCROFT'83].

Além disso, as arestas do hipergrafo representam custos positivos para objetivos e negativos para ações, o que, segundo [THIBLEBY'03], torna o problema possivelmente insolúvel com os algoritmos tradicionais, pois ocorreriam ciclos com custo negativo, que podem ser executados sucessivamente, diminuindo infinitamente o custo final do caminho.

Assim, o algoritmo mais próximo a ser utilizado é o empregado no sistema DEPINT [SICHMAN'95], onde se cria uma rede de dependência com base na estrutura da sociedade, e então, em adição ao algoritmo, se realiza uma busca em profundidade para tentar fechar o ciclo de parceria no hipergrafo.

Na seção seguinte, esse novo algoritmo será explicado detalhadamente.

6.3.2. Descrição Detalhada

O algoritmo central do PartNET++ é o algoritmo de busca de parcerias, que nada mais são que hiperciclos no grafo de dependências da sociedade.

A simulação se dá em rodadas, onde cada agente tem a oportunidade de encontrar a melhor parceria de acordo com a sua estratégia durante a sua vez. A ordem de participação por rodada é randômica, sendo que o agente que começa tem o privilégio de escolher antes, e, como foi explicado anteriormente, esse fato pode mudar o resultado da simulação em cada execução.

Durante uma rodada, cada agente pode realizar no máximo um objetivo, utilizando todas as ações necessárias para estabelecer parcerias com outros agentes que o ajudem a atingir esse objetivo.

A ordem dos agentes em cada rodada é definida aleatoriamente, para não privilegiar nenhum tipo de ordem estabelecida e proporcionar a todos os agentes uma oportunidade igual da escolha inicial.

Os passos do algoritmo em cada rodada podem ser definidos como:

1. Para o agente atual, o algoritmo monta uma estrutura chamada **rede de dependência** [SICHMAN'95], composta por todas as GOAL-dependences, PLAN-dependences, AND-dependences e OR-dependences do agente primário (veja Figura 6.7).

Figura 6.7 Rede de dependência

2. Em seguida, para cada PLAN-dependence, é calculado o seu custo mínimo e o seu benefício máximo, conforme as equações (6.2) e (6.3). O agente, então, ordena-as na rede de dependência de acordo com a relevância definida pela sua estratégia. O agente substancialista irá ordená-las pelo ganho bruto; o utilitarista, pelo benefício máximo, e o avaro, pelo custo mínimo, conforme descrito no capítulo 4.
3. Para cada PLAN-dependence, na ordem colocada pela estratégia do agente, o algoritmo busca a AND-dependence de menor custo (veja Figura 6.8), procurando priorizar inicialmente as AND-dependences que tenham mais OR-dependences.

Figura 6.8 AND-dependence de menor custo

4. Então, utilizando a AND-dependence de menor custo, o algoritmo realiza uma busca em profundidade pelo hipergrafo da sociedade, partindo dos agentes secundários selecionados e tentando alcançar o agente primário. Como a importância do objetivo está embutida na PLAN-dependence, ao escolher a melhor PLAN-dependence, o agente automaticamente escolhe a melhor GOAL-dependence.
5. Se alguma das ações do plano escolhido não encontrar o agente principal no limite da constante *stratification* da simulação, as OR-dependences respectivas serão removidas da AND-dependence (sem alterar a configuração original da sociedade, apenas as AND-dependences internas do algoritmo). Nesse caso, o valor dessa AND-dependence é reavaliado na rede de dependência. Se o seu custo mínimo tiver sido alterado, sua posição na rede ordenada será modificada. Todas as AND-dependences que ficarem sem OR-dependences para todas as suas ações serão removidas da rede de dependência. Se a rede estiver vazia, o agente atual não terá parcerias possíveis nesse ciclo, retornando o algoritmo para o passo 1.

6. Se todas as ações do plano encontrarem o agente principal, estará encontrada a AND-match preferencial do agente principal; caso contrário, retornará a 5.
7. A AND-match escolhida é realizada, marcando todas as ações que foram realizadas e os objetivos que foram cumpridos, guardando os dados para a geração dos grafos.
8. Se todos os agentes da sociedade não conseguirem mais realizar nenhuma parceria, a simulação termina; caso contrário, retorna ao passo 1, seguindo para o próximo agente de acordo com a ordem estabelecida.

Para a simplificação do algoritmo, trabalhou-se com o nível de *intolerance*=1, de forma que apenas o agente principal tem necessidade de realizar OR-matches para todas as ações do plano escolhido. Os agentes secundários e terciários contentam-se em realizar uma única OR-match. Com essa simplificação, é possível fazer uma simples busca em largura no hipergrafo a partir do agente secundário e tentar chegar novamente ao agente primário, sem levar em conta as AND-dependences.

Para compreender melhor o algoritmo, na próxima seção será desenvolvido, passo a passo, um exemplo ilustrativo.

6.3.3. Exemplo de Execução

Partindo de uma sociedade com cinco agentes, ag1, ag2, ag3, ag4 e ag5, sendo que ag1 é utilitarista e os outros são todos substancialistas, pode-se representar suas relações de dependência pelo hipergrafo da Figura 6.9. Essa sociedade é referida como Ampulheta, pelo formato peculiar do seu grafo de dependência.

Os parâmetros adotados para essa sociedade são *stratification* = 1 e *intolerance* = 1.

Figura 6.9 Sociedade Ampulheta

Ao executar o algoritmo passo a passo, é analisada uma rodada de execução, centrada no agente **ag1**, para examinar detalhadamente o comportamento do algoritmo.

No início da rodada, a ordem dos agentes é definida aleatoriamente; com a premissa de que **ag1** esteja em primeiro lugar, pode-se supor que a ordem sorteada tenha sido [**ag1**, **ag3**, **ag4**, **ag2**, **ag5**].

No passo 1, é estruturada a rede de dependência para o agente **ag1**, que pode ser observada na Figura 6.10. Essa primeira versão da rede ainda não está ordenada.

Para ordená-la, no passo 2, o agente usa a sua estratégia utilitarista. Nota-se que a rede contém duas GOAL-dependences, uma para **g11** e outra para **g12**.

Figura 6.10 Rede de dependência para ag1 desordenada

Como a estratégia utilitarista valoriza o maior benefício líquido, é necessário calcular o benefício líquido máximo das duas GOAL-dependences para avaliar qual é mais adequada para ag1.

Para calcular o benefício líquido máximo de uma GOAL-dependence, deve-se calcular o benefício máximo das PLAN-dependences compreendidas por ela. Ambas as GOAL-dependences têm apenas uma PLAN-dependence, que, por sua vez, só tem uma única AND-dependence.

Utilizando a fórmula (6.3), pode-se calcular o benefício máximo dessas AND-dependences:

$$BM(p111) = c(g11) + (c(a2) + c(a3)) = 1300 + ((-90) + (-99)) = 1111$$

$$BM(p121) = c(g12) + (c(a4) + c(a5)) = 1200 + ((-43) + (-85)) = 1072$$

Dessa forma, as GOAL-dependences podem ser ordenadas pelo agente na rede de dependência, da esquerda para a direita, gerando a rede da Figura 6.11.

Figura 6.11 Rede de dependência para ag1 ordenada

Em seguida, no passo 3, escolhe-se a PLAN-dependence mais à esquerda e, por meio de uma busca em profundidade, tenta-se atingir o agente primário, partindo de cada um dos agentes secundários e respeitando ainda o limite máximo de stratification da sociedade. A Figura 6.12 representa o resultado da busca, demonstrando a parceria obtida.

No passo 4, nada é realizado, pois as duas buscas em profundidade partindo de ag2 e ag3 chegam a ag1, indicando que a parceria é possível.

O passo 5 não é realizado, pois todos os OR-matches estão completos. Assim, chega-se ao passo 6, onde a parceria obtida é realizada, computando os custos e ganhos para todos os agentes envolvidos.

O agente ag1 teve um ganho de 1300, mas gastou 189, para um benefício líquido total de 1111 (que é o valor de $BM(p111)$).

Calculando o $BM(p211)$ resulta em:

$$BM(p211) = c(g21) + (c(a12)) = 1225 + ((-62)) = 1163$$

Assim, o agente ag2 ganhou 1225, mas gastou 62, para um benefício líquido de 1163 (que é o valor de $BM(p211)$).

Para o agente ag3, calcula-se $BM(p311)$, que resulta em:

$$BM(p211) = c(g31) + (c(a13)) = 1100 + ((-118)) = 982$$

Assim, o agente ag3 ganhou 1100, gastando 118, para um benefício líquido de 982.

Figura 6.12 Ampulheta com uma parceria de ag1

Com o término da execução para ag1, a simulação passa a vez para o próximo agente, que, pela ordem indicada anteriormente, será o agente ag3.

Como o agente ag3 já foi solicitado nessa rodada, não pode fazer mais nada, passando a vez para o próximo agente, que é ag4.

No passo 1, a rede de dependência para ag4 é estruturada (Figura 6.13), porém, como é uma rede muito simples, só há uma opção para ag4 escolher, que é a única GOAL-dependence da rede.

Figura 6.13 Rede para ag4

No passo 3, o grafo é percorrido em uma busca em profundidade partindo de ag1 para tentar atingir ag4, o que sucede na Figura 6.14.

Figura 6.14 Ampulheta com as parcerias de ag1 e ag4

Assim, no passo 6, a nova parceria é realizada.

Calculando o $BM(p411)$ para $ag4$, tem-se:

$$BM(p411) = c(g41) + (c(a14)) = 1113 + ((-94)) = 1019$$

Dessa maneira, o agente $ag4$ ganhou 1113, mas gastou 94, para um benefício líquido de 1019.

O agente $ag1$ não chegou a ganhar os 1200 ainda, pois falta completar a outra OR-match da parceria¹, ficando com um prejuízo de 85, para um total acumulado de 1026 (1111-85).

A vez passa, então, para o agente $ag2$, que não age novamente, já tendo sido escolhido nessa rodada.

Enfim, o agente $ag5$ tem a chance de escolha. No passo 1, uma rede de dependência muito semelhante à de $ag4$ é gerada para ele (Figura 6.15). Em seguida, como não há escolhas, a busca em profundidade do passo 3 é realizada, gerando a última parceria deste ciclo (Figura 6.16).

Calculando $BM(p511)$, resulta em:

$$BM(p511) = c(g51) + (c(a15)) = 1100 + ((-57)) = 1043$$

Assim, o agente $ag5$ ganhou 1100, mas gastou 57, para um benefício líquido de 1043.

O agente $ag1$ conseguiu a OR-match que faltava para completar a sua AND-match e ganhou os 1200 que lhe eram devidos, gastando, para isso, mais 43, para um benefício líquido acumulado de 2183 (1026+1200-43).

¹ Nota-se que o parâmetro *intolerance* é 1, portando todos os agentes além do primário contentam-se com OR-matches somente.

Figura 6.15 Rede para ag5

Figura 6.16 Ampulheta com as parcerias de ag1, ag4 e ag5

Uma vez que todos os agentes tiveram a sua vez, a rodada é finalizada.

Na rodada seguinte, nenhum agente tem a possibilidade de realizar outras parcerias, e portanto a simulação se encerra com um grafo semelhante ao da Figura 6.16.

O resultado esperado da simulação é:

Agente (estratégia)	Benefício/ total	Custos	Benefício líquido	Objetivos atingidos
ag1 (utilitário)	2500/2500	317	2183	2/2
ag2 (substancialista)	1255/1255	62	1163	1/1
ag3 (substancialista)	1100/1100	118	982	1/1
ag4 (substancialista)	1113/1113	94	1019	1/1
ag5 (substancialista)	1100/1100	57	1043	1/1

O resultado da simulação se dá pelo resumo, observado na Figura 6.17.

Figura 6.17 Resumo da simulação da sociedade da ampulheta no PartNET++

Para uma sociedade tão pequena, não faz sentido analisar os gráficos de progresso, mesmo porque a simulação durou apenas um ciclo, e portanto só haverá um evento no gráfico, além do início.

Por meio desse exemplo, o algoritmo de funcionamento do PartNET++ fica demonstrado de forma clara.

6.4. Diferenças com Relação ao PartNET+

Para implementar as novas funcionalidades, foi necessário realizar diversas modificações em vários aspectos do PartNET+, que serão analisadas abaixo.

A implementação de planos no modelo requer novos elementos de **interface gráfica** para administrar os planos dos agentes; assim, a interface principal do PartNET++ foi alterada, recebendo uma nova coluna para mostrar os planos na tabela geral de agentes (Figura 6.18).

The screenshot shows the PartNET++ application window with the title bar 'PartNET++ E:\Projetos\Mestrado\PartNet2\test.xml'. The menu bar includes 'File', 'Agent', 'Society', 'Simulation', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and simulation control. The main area contains a table with the following columns: Name, Actions, Goals, Plans, Strategy, Benefit, Cost, Net, and Goals ok. The table lists 15 agents (ag1U to ag15M) with their respective attributes. Below the table is a status bar with the text 'Welcome to PartNET++' and 'Loaded society test.xml'.

Name	Actions	Goals	Plans	Strategy	Benefit	Cost	Net	Goals ok
ag1U	[a4], [a3]	(g11); (g12); (g13)	p111(g11):a2, p121...	Utilitarian	0/3596	0	0	0/3
ag2U	[a3], [a5]	(g21); (g22); (g23)	p211(g21):a4, p221...	Utilitarian	0/5662	0	0	0/3
ag3U	[a3], [a2]	(g31); (g32); (g33)	p311(g31):a4, p321...	Utilitarian	0/3844	0	0	0/3
ag4U	[a4], [a1]	(g41); (g42); (g43)	p411(g41):a3, p421...	Utilitarian	0/4176	0	0	0/3
ag5U	[a3], [a2]	(g51); (g52); (g53)	p511(g51):a5, p521...	Utilitarian	0/4529	0	0	0/3
ag6S	[a4], [a3]	(g61); (g62); (g63)	p611(g61):a1, p621...	Substantialist	0/5041	0	0	0/3
ag7S	[a3], [a4]	(g71); (g72); (g73)	p711(g71):a5, p721...	Substantialist	0/4759	0	0	0/3
ag8S	[a1], [a3]	(g81); (g82); (g83)	p811(g81):a5, p821...	Substantialist	0/3953	0	0	0/3
ag9S	[a1], [a4]	(g91); (g92); (g93)	p911(g91):a2, p921...	Substantialist	0/4355	0	0	0/3
ag10S	[a5], [a4]	(g101); (g102); (g103)	p1011(g101):a1, p1...	Substantialist	0/4709	0	0	0/3
ag11M	[a3], [a5]	(g111); (g112); (g113)	p1111(g111):a4, p1...	Miser	0/3841	0	0	0/3
ag12M	[a4], [a2]	(g121); (g122); (g123)	p1211(g121):a1, p1...	Miser	0/4796	0	0	0/3
ag13M	[a2], [a4]	(g131); (g132); (g133)	p1311(g131):a1, p1...	Miser	0/4427	0	0	0/3
ag14M	[a4], [a3]	(g141); (g142); (g143)	p1411(g141):a2, p1...	Miser	0/4409	0	0	0/3
ag15M	[a2], [a1]	(g151); (g152); (g153)	p1511(g151):a5, p1...	Miser	0/5127	0	0	0/3

Welcome to PartNET++
Loaded society test.xml.

Figura 6.18 Interface principal do PartNET++

Nota-se também que a interface principal foi dividida em duas janelas, dando lugar ao inspetor da sociedade, antes separado em outra janela. Isso permite acompanhar as escolhas dos agentes em cada ciclo da simulação, agora por mensagens mais simples e elucidativas, e o uso de cores. O inspetor pode ainda ser ocultado pelo menu.

Em relação ao novo sistema de planos, a tela de edição de agentes implementa uma nova aba para a configuração de planos, que pode ser observada na Figura 6.19.

Figura 6.19 Interface de configuração de planos

Com o novo algoritmo de busca de parcerias utilizando hipergrafos, foi adicionada uma nova janela para visualizar o grafo de dependência, que pode ser observada na Figura 6.20.

No Apêndice A, encontra-se uma avaliação das bibliotecas de representação de grafos publicamente disponíveis para a linguagem Java, cujo resultado avalizou a escolha da atual forma de visualização do grafo de dependência.

Figura 6.20 Interface de observação do grafo de dependência

A interface do gerador de sociedades também foi modificada para acomodar os novos parâmetros para a geração de sociedades aleatórias, o que pode ser observado na Figura 6.21.

The screenshot shows a window titled "Random Society" with three sections:

- Society Configuration:**
 - Max. number of actions: 5
- Agent Configuration:**
 - Actions per agent: 3 (slider)
 - Goals per agent: 2
 - Plans per goal: 2
 - Actions per Plan: 2 (slider)
- Population:**

Category	Count	Percentage
Substantialists	5	33,3 %
Utilitarians	5	33,3 %
Misers	5	33,3 %

 At the bottom is an "Ok" button.

Figura 6.21 Interface do gerador de sociedades aleatórias

Os parâmetros de simulação, introduzidos no novo modelo, também podem ser alterados por meio de uma interface, localizada pelo menu de sociedade (Figura 6.22).

Figura 6.22 Interface para alterar os parâmetros da sociedade

Para comportar os planos com várias ações e melhor armazenar uma sociedade com parcerias entre múltiplos agentes, foi necessário alterar o formato de **arquivo XML** que representa a sociedade, pois este se tornou incompatível com o formato da versão anterior. Tal compatibilidade foi perdida à medida que os novos agentes têm uma forma diferente de representar a relação entre objetivos e ações, pela utilização de planos. Além disso, as parcerias são modeladas por meio de grafos, e não mais com o uso de listas (PML, EML). Como a funcionalidade do novo simulador engloba toda a funcionalidade do PartNET+, essa perda de compatibilidade não deve ser considerada problemática.

O DTD do PartNET++ pode ser observado na Figura 6.23.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE society [
<!ELEMENT society (generator?,agent+,matches?,charts?)>
<!-- simulation_time must be in the format HH:mm:ss -->
<!ATTLIST society current_cycle CDATA #IMPLIED
                 simulation_time CDATA #IMPLIED
                 stratification CDATA #REQUIRED
                 intolerance CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT generator EMPTY>
<!ATTLIST generator number_of_actions CDATA #REQUIRED
                 actions_per_agent CDATA #REQUIRED
                 goals_per_agent CDATA #REQUIRED
                 plans_per_goal CDATA #REQUIRED
                 actions_per_plan CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT agent (goal*,plan*,action*)>
<!ATTLIST agent name CDATA #REQUIRED
                 strategy NMTOKEN #REQUIRED
                 gross_benefit CDATA #IMPLIED
                 total_cost CDATA #IMPLIED
                 maximum_benefit CDATA #IMPLIED
                 objectives_reached CDATA #IMPLIED>

<!ELEMENT matches (and-match)*>
<!ELEMENT action_ref EMPTY>
<!ATTLIST action_ref name CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT plan (action_ref)*>
<!ATTLIST plan name CDATA #REQUIRED
                 goal_achieved CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT action EMPTY>
<!ATTLIST action name CDATA #REQUIRED
                 type CDATA #IMPLIED
                 cost CDATA #REQUIRED
                 status CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT goal EMPTY>
<!ATTLIST goal name CDATA #REQUIRED
                 priority CDATA #REQUIRED
                 status CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT and-match (or-match)+>
<!ATTLIST and-match agent CDATA #REQUIRED
                 plan CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT or-match (or-dep)+>
<!ATTLIST or-match action CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT or-dep EMPTY>
<!ATTLIST or-dep receiver CDATA #REQUIRED
                 plan CDATA #REQUIRED
                 action CDATA #REQUIRED
                 source CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT charts (accumulated, mean, stdev)*>
<!ELEMENT accumulated (step*)>
<!ELEMENT mean (step*)>
<!ELEMENT stdev (step*)>

<!ELEMENT step EMPTY>
<!ATTLIST step
                 s CDATA #REQUIRED
                 u CDATA #REQUIRED
                 m CDATA #REQUIRED
                 t CDATA #REQUIRED>
]>

```

Figura 6.23 O DTD do PartNET++

O resumo e os gráficos de saída continuam da mesma forma que antes, mostrando os resultados de maneira compatível com o PartNET+.

As mudanças de interface, mesmo se significativas, estão, na maioria, relacionadas com a nova funcionalidade adicionada.

No próximo capítulo, encontram-se descritos os resultados obtidos nos diversos experimentos realizados com os sistemas PartNET+ e PartNET++.

7. RESULTADOS OBTIDOS

7.1. Verificação dos Resultados Originais

Durante o desenvolvimento dos simuladores PartNET+ e PartNET++, foram realizados vários testes para medir e validar o seu funcionamento. No entanto, só depois da finalização do processo de desenvolvimento foi possível avaliar se os resultados obtidos nas diversas execuções dos simuladores correspondiam ou não ao esperado.

Ambos os simuladores deveriam ser capazes de validar as mesmas hipóteses e levar às mesmas conclusões propostas pelos autores do PART-NET original (definidas na seção 4.5). Para isso, desenvolveu-se uma série de experimentos. Os resultados desses experimentos foram analisados de forma estatística, levando a conclusões semelhantes às originais.

Como o PartNET++ oferece novos graus de liberdade ao problema, desenvolveram-se, então, experimentos para avaliar qual a influência desses novos graus de liberdade nos resultados da simulação. Em vez de propor novas hipóteses, este trabalho apenas se limita a analisar os resultados e constatar se as hipóteses originais continuam tendo efeito sob as novas condições de simulação.

No modelo proposto, as estratégias de parceria dos agentes produzem resultados diferentes de acordo com a configuração da sociedade. Antes de fazer testes em grande escala com sociedades de grande porte, é preciso validar se as estratégias se comportam de maneira esperada, de forma que os utilitaristas tenham o maior ganho líquido, enquanto os substancialistas obtêm o maior ganho bruto e os avaros, o menor custo.

Assim foram elaborados experimentos de **validação das estratégias**, que se baseiam em uma sociedade simples, onde é utilizado o algoritmo do simulador em um agente central e são observadas as parcerias realizadas, dependendo da estratégia do agente.

Em seguida, após verificar o funcionamento individual dos simuladores por agente, o passo seguinte é validar seu funcionamento em sociedades maiores, buscando chegar às mesmas conclusões obtidas no simulador PART-NET original. Assim, elaboraram-se sociedades de testes com parâmetros adequados às hipóteses experimentais observadas anteriormente. Esses experimentos foram chamados de **testes de simulação**.

No PartNET++, porém, os testes de simulação não se limitam apenas a observar as hipóteses experimentais anteriores, sendo que há experimentos para avaliar qual a influência dos novos parâmetros nos resultados da simulação.

7.2. Validação das Estratégias

Para realizar a validação das estratégias, foi utilizada uma sociedade bastante simples, que permite observar resultados em pequena escala e avaliar as estratégias de escolha de parceiros dos agentes.

A sociedade consta de quatro agentes, ag1, ag2, ag3 e ag4. O agente central, **ag1**, tem três objetivos de importâncias 1250(g2), 1500(g3) e 1750(g4), e uma ação, de custo 700(a1). Os outros agentes todos possuem um único objetivo g1 de importância 2000, e cada agente tem uma ação correspondente ao seu número com custos variados: **ag2** tem a2 de custo 250, **ag3** tem a3 de custo 300 e **ag4** tem a4 de custo 1000.

No caso do PartNET++, os planos para obter cada um dos objetivos dos agentes são simplesmente compostos pela ação de mesmo número. Essa simplificação visa tornar a sociedade de testes compatível entre o PartNET+ e PartNET++.

Uma representação simbólica da sociedade, que auxilia a sua visualização e compreensão, é a seguinte:

$$ag1\{\{g2(1250), g3(1500), g4(1750)\}, \{a1(700)\}\}$$

$$ag2\{\{g1(2000)\}, \{a2(250)\}\}$$

$ag3\{\{g1(2000)\}, \{a3(300)\}\}$

$ag4\{\{g1(2000)\}, \{a4(1000)\}\}$

Analisando as parcerias possíveis para $ag1$, temos:

$ag1 \rightarrow ag2$ (**custo** = **250**, ganho bruto = 1250, ganho líquido = 1000)

$ag1 \rightarrow ag3$ (custo = 300, ganho bruto = 1500, **ganho líquido = 1200**)

$ag1 \rightarrow ag4$ (custo = 1000, **ganho bruto = 1750**, ganho líquido = 750)

Assim, variando a estratégia de $ag1$, podemos observar parcerias com agentes diferentes:

- **substancialista**: o melhor ganho bruto está na parceria com **ag4**, no valor de 1750;
- **utilitarista**: o maior ganho líquido está na parceria com **ag3**, com valor 1200;
- **avaro**: a parceria de menor custo é aquela com o agente **ag2**, de custo 250.

Para avaliar os simuladores, é preciso observar se esse mesmo comportamento se manifesta em ambos.

7.2.1. PartNET+

A representação da sociedade de testes no PartNET+ é mostrada na Figura 7.1.

Name	Goals	Actions	Strategy	Benefit	Cost	Net	Goals ok
ag1	(3), (4), (2)	[1]	Substantialist	0/4500	0	0	0/3
ag2	(1)	[2]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1
ag3	(1)	[3]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1
ag4	(1)	[4]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1

Simulation paused.

Figura 7.1 Representação da sociedade para a validação das estratégias no PartNET+

Quando a estratégia de ag1 é **substancialista**, ele realiza uma parceria com ag4, satisfazendo o seu objetivo de maior importância, com um ganho bruto de 1750, conforme indica a Figura 7.2.

Name	Goals	Actions	Strategy	Benefit	Cost	Net	Goals ok
ag1	(3), (4)+, (2)	[1]+	Substantialist	1750/4500	1000	750	1/3
ag2	(1)	[2]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1
ag3	(1)	[3]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1
ag4	(1)+	[4]+	Substantialist	2000/2000	700	1300	1/1

Simulation paused.

Figura 7.2 Resultados da estratégia substancialista no PartNET+

Como mostra a Figura 7.3, quando a estratégia de ag1 é **utilitarista**, ele realiza a parceria de melhor custo benefício, escolhendo ag3.

Name	Goals	Actions	Strategy	Benefit	Cost	Net	Goals ok
ag1	(3)+, (4), (2)	[1]+	Utilitarian	1500/4500	300	1200	1/3
ag2	(1)	[2]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1
ag3	(1)+	[3]+	Substantialist	2000/2000	700	1300	1/1
ag4	(1)	[4]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1

Simulation paused.

Figura 7.3 Resultados da estratégia utilitarista no PartNET+

Para a estratégia **avara**, basta que a parceria tenha o menor custo, escolhendo ag2. O resultado é exibido na Figura 7.4.

Name	Goals	Actions	Strategy	Benefit	Cost	Net	Goals ok
ag1	(3), (4), (2)+	[1]+	Miser	1250/4500	250	1000	1/3
ag2	(1)+	[2]+	Substantialist	2000/2000	700	1300	1/1
ag3	(1)	[3]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1
ag4	(1)	[4]	Substantialist	0/2000	0	0	0/1

Simulation paused.

Figura 7.4 Resultados da estratégia avara no PartNET+

Dessa forma, observa-se que o simulador PartNET+ oferece resultados compatíveis com os esperados. As estratégias foram, portanto, interpretadas de forma correta.

7.2.2. PartNET++

Para demonstrar os mesmos resultados no simulador PartNET++, foi utilizada a mesma sociedade representada na Figura 7.5.

Figura 7.5 Representação da sociedade para validação de estratégias no PartNET++

Quando ag1 utiliza a estratégia **substancialista**, o esperado é que escolha o agente ag4, para satisfazer a parceria que lhe dá maior ganho bruto. Tal resultado pode ser observado na Figura 7.6.

Figura 7.6 Resultado da estratégia substancialista no PartNET++

Para o caso da estratégia **utilitarista**, a parceria que oferece o melhor ganho líquido é a realizada com o agente ag3. O simulador fornece o resultado observado na Figura 7.7.

Figura 7.7 Resultado da estratégia utilitarista no PartNET++

Finalmente, no caso da estratégia **avara**, o resultado esperado é uma parceria com o agente ag2, para obter o menor custo. O comportamento do simulador é mostrado na Figura 7.8.

Figura 7.8 Resultado da estratégia avara no PartNET++

Dessa forma, observa-se que os dois simuladores implementam corretamente as estratégias propostas, oferecendo resultados de acordo com o esperado.

7.3. Testes de Simulação

Os testes de simulação são fundamentais para avaliar o funcionamento dos algoritmos implementados nos simuladores. Esses testes foram desenvolvidos, em primeira instância, para testar as hipóteses experimentais observadas no sistema PART-NET, mencionado na seção 4.5, e em segunda instância, para avaliar os resultados da inserção de novas variáveis na simulação, como a inserção do mecanismo de planos e a estratificação social.

Para executar esses testes, foram necessárias várias seções de simulação. Testaram-se 15 modelos de sociedades distintas, compostos de 30 ou 60 agentes, sendo que para cada modelo foram efetuadas 100 seções de simulação. Em cada

seção, os agentes da sociedade eram gerados aleatoriamente, segundo os parâmetros de simulação.

Para otimizar o processo e facilitar tantas execuções pelo simulador, foi desenvolvida uma nova interface, acessível pela linha de comando. Essa nova interface permite executar um lote de arquivos XML representando sociedades em configurações variadas. A saída dessa modalidade são diversos arquivos com a extensão “.out”, contendo o resultado da simulação na respectiva sociedade. Essa modalidade de execução também oferece um resumo da execução, que pode ser capturado para um arquivo.

A saída do simulador gerou uma vasta massa de dados, e por vezes as médias e desvios padrões dos valores não foram suficientes para avaliar se uma amostra era maior, menor ou igual a outra. Para fazer esse tipo de verificação utilizou-se um recurso estatístico chamado Teste T de Student [SPIEGEL’75], que pode ser definido pela fórmula abaixo:

$$T = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(n_1 - 1)\delta_1^2 + (n_2 - 1)\delta_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{(n_1 + n_2)}} \quad (7.1)$$

Nessa fórmula, μ indica a média, δ indica o desvio padrão e n o número de pontos da amostra. Se o valor resultante do teste T for um número dentro da faixa crítica para a margem de erro considerada, as duas amostras podem ser consideradas iguais. Um valor positivo além da faixa crítica indica que a primeira amostra é maior que a segunda, e um valor negativo abaixo da faixa crítica aponta que a primeira é menor que a segunda.

Além do recurso do teste T de Student, ainda foi utilizada a curva da regressão polinomial de ordem 5 para observar a tendência dos gráficos resultantes das experiências.

Para descrever matematicamente as hipóteses experimentais, será utilizada uma notação para denotar a descrição externa dos agentes. Nessa notação, uma

sociedade S é definida pelos conjuntos AG_i de agentes, A_i de ações, G_i de objetivos, P_i de planos e R_i de recursos da sociedade:

$$S_i = \{AG_i, A_i, G_i, P_i, R_i\}$$

Também será utilizada a convenção de que B_i representa o ganho líquido acumulado da sociedade i ao final da simulação e B_{ip} representa o ganho líquido acumulado de uma parte p da sociedade i ao final da simulação, sendo que p pode ser s (substantialista), u (utilitário) ou a (avaro).

Assim, de acordo com as observações apresentadas na seção 4.5, para as hipóteses experimentais observadas no PART-NET pode-se estabelecer as seguintes hipóteses:

H1. Em sociedades homogêneas, os utilitários devem ter um ganho líquido acumulado maior que o dos substantialistas e avaros.

$$B_u > B_s > B_a, \text{ para sociedades homogêneas}$$

H2. Em sociedades homogêneas, os substantialistas obtêm melhores resultados quando há um maior número de objetivos por agente na sociedade.

$$B_1 > B_2, \text{ para } S_1\{AG_1, A_1, G_1, P_1, R_1\}, S_2\{AG_2, A_2, G_2, P_2, R_2\}, |G_1| > |G_2|$$

H3. Em sociedades heterogêneas, os substantialistas acabam superando os utilitários em termos de ganho líquido acumulado.

$$B_{is} > B_{iu}, \text{ em sociedades heterogêneas}$$

H4. Em sociedades heterogêneas, o ganho acumulado é maior do que a média dos ganhos acumulados de sociedades homogêneas.

$$B_m > \frac{B_u + B_s + B_a}{3}, \text{ com } S_u, S_s \text{ e } S_a \text{ homogêneas e } S_m \text{ heterogênea}$$

Os parâmetros usados para definir as sociedades de testes são diferentes entre as duas versões do simulador, pois o modelo usado no PartNET++ é mais detalhado, oferecendo mais graus de liberdade.

No PartNET+ os seguintes parâmetros de sociedade estão presentes:

- **número de ações na sociedade (NAS):** representa o número de ações distintas existentes na sociedade;
- **número de objetivos na sociedade (NGS):** representa o número de objetivos distintos existentes na sociedade;
- **quantidade de ações por agente (APA):** indica quantas ações diferentes cada agente na sociedade é capaz de realizar;
- **quantidade de objetivos por agente (GPA):** indica quantos objetivos diferentes tem cada agente na sociedade. Lembrando que um agente não pode ter um objetivo que precise de uma ação que ele saiba realizar, a soma do parâmetro GPA e do APA não pode ultrapassar o menor valor entre NAS e NGS.

No modelo do PartNET+, como não existe a noção de planos, as ações e objetivos são mapeados um para um, portanto um agente não pode ter um objetivo do mesmo tipo de uma ação que ele possua. No modelo do PartNET++, essa restrição não existe mais. Levando-se em conta essa diferença, o parâmetro NGS não mais se aplica, mas os parâmetros NAS, GPA e APA continuam sendo pertinentes. Além desses três, os seguintes novos parâmetros passam a integrar o modelo:

- **quantidade de planos por objetivo (PPG):** representa a quantidade de planos definidos para atingir cada objetivo do agente, aumentando sua possibilidade de escolha¹;
- **quantidade de ações por plano (APP):** mede a quantidade máxima de ações necessárias que um plano terá como componentes para o seu

¹ Para realizar simulações semelhantes ao PartNET+, no PartNET++ é preciso igualar esse parâmetro deve ter o valor 1(um).

cumprimento. Pode haver planos com menos ações do que o parâmetro APP¹;

- **estratificação social (STR):** como explicado na seção 6.2.2, representa a quantidade de agentes participando de uma OR-match, ou a quantidade de agentes intermediando uma parceria;
- **intolerância social (INT):** parâmetro que representa, como explicado na seção 6.2.1, a quantidade de agentes em uma parceria que não toleram receber parte das ações de um de seus planos para efetuar a parceria, exigindo o plano inteiro. Na implementação utilizada, esse parâmetro foi fixado como 1, de forma que apenas o agente primário exige completar o plano inteiro.

Entendidas as hipóteses experimentais originais e os parâmetros utilizados para gerar sociedades aleatoriamente nos dois simuladores, segue-se a explicação dos experimentos.

Para cada uma das hipóteses experimentais, criou-se um experimento para ser executado por ambos os simuladores e foram comparados os resultados. No PartNET++, foi possível experimentar também com os novos parâmetros e ver o seu efeito na observação de cada hipótese.

Os dados utilizados na execução dos simuladores, bem como os resultados dos experimentos para comprovar as hipóteses, podem ser examinados no Anexo B.

A seguir são detalhados os experimentos.

7.3.1. PartNET+

A descrição dos experimentos realizados será representada no formato tabular, sendo que cada linha corresponde a uma sociedade, e as colunas contêm, respectivamente, o nome da sociedade (#), o número de agentes utilitários (nU), o

⁴ Para realizar simulações semelhantes ao PartNET+, no PartNET++ esse parâmetro deve ter o valor 1(um).

número de agentes substancialistas (nS), o número de agentes avaros (nA), o número de ações da sociedade (NAS), o número de objetivos na sociedade (NGS), a quantidade de ações por agente (APA) e a quantidade de objetivos por agente (GPA).

Para verificar a **hipótese H1**, segundo a qual em sociedades homogêneas os utilitários obtêm melhores resultados que os substancialistas, que por sua vez obtêm melhores resultados que os avaros, definiram-se três sociedades homogêneas com uma quantidade de 10 objetivos por agente num máximo de 20 objetivos possíveis na sociedade:

Experimento E11:

#	nU	nS	nA	NAS	NGS	APA	GPA
SU	60	-	-	20	20	5	10
SS	-	60	-	20	20	5	10
SA	-	-	60	20	20	5	10

Os ganhos líquidos acumulados nas três sociedades, obtidos experimentalmente, foram as seguintes:

$$B_{SU} = 321.495,8 (\pm 6.781,8)$$

$$B_{SS} = 317.428,4 (\pm 8.229,0)$$

$$B_{SA} = 294.224,4 (\pm 7.263,2)$$

Estatisticamente, o teste T de Student entre B_u e B_s resulta um valor de 3,83, indicando que $B_{SU} > B_{SS}$, com um erro menor do que 0,1%. Entre B_{SS} e B_{SA} , o teste T resultou 21,14, indicando que o primeiro é maior que o segundo, com um erro significativamente menor do que 0,001%.

O gráfico das regressões oferece uma perspectiva visual ainda melhor, como mostra a Figura 7.9.

Figura 7.9 Análise gráfica da hipótese H1 no PartNET+

Dessa forma, observa-se que $B_u > B_s > B_a$, em sociedades com os parâmetros selecionados. Em algumas variações desse experimento, tentou-se mudar alguns parâmetros, e os resultados foram interessantes.

Quando GPA é igual a APA, observa-se um comportamento peculiar, com o ganho líquido dos substancialistas aproximando-se do obtido pelos avaros, e, em algumas ocasiões, os avaros até mesmo conseguem uma colocação melhor que os substancialistas.

Com o aumento de GPA em relação a APA, percebe-se uma melhora no ganho líquido acumulado dos substancialistas, chegando a ultrapassar os utilitários em alguns casos.

Com valores de APA maiores do que GPA, observa-se um comportamento progressivo dos avaros, que chegam, algumas vezes, a ultrapassar os substancialistas.

Para observar a **hipótese H2**, que indica que os substancialistas obtêm melhores resultados quando há mais objetivos na sociedade, foram definidas duas sociedades compostas exclusivamente por substancialistas com quantidades diferentes de objetivos por agente:

Experimento E12:

#	nU	nS	nA	NAS	NGS	APA	GPA
S1	-	60	-	20	20	5	10
S2	-	60	-	20	20	5	5

Com diferentes quantidades de objetivos por agente (GPA), os ganhos líquidos totais são naturalmente distintos. Assim, para poder compará-los adequadamente, uma possibilidade é dividir os totais de cada simulação pelo número de parcerias obtidas.

Os ganhos líquidos acumulados sobre o total de parcerias obtidas para as duas sociedades seguem abaixo:

$$BP_1 = 2.223,7 (\pm 46,4)$$

$$BP_2 = 2.071,3 (\pm 50,7)$$

O teste T de Student entre BP_1 e BP_2 resulta um valor de 22,17, que indica que $BP_1 > BP_2$ com um erro menor do que 0,001%.

Analisando o gráfico das regressões mostrado na Figura 7.10, pode-se observar claramente a diferença.

Figura 7.10 Análise gráfica da hipótese H2 no PartNET+

Por meio desse experimento, observa-se que a hipótese H2 se confirma segundo os parâmetros experimentais adotados.

A hipótese H3 define que, em sociedades heterogêneas, os substancialistas acabam por superar os utilitários em termos do ganho líquido acumulado.

Para avaliar essa hipótese, atribuíram-se parâmetros a uma sociedade heterogênea com 20 agentes de cada tipo, e então foram observados os ganhos líquidos acumulados ao final da simulação para cada estratégia.

Os parâmetros utilizados foram:

Experimento E13:

#	nU	nS	nA	NAS	NGS	APA	GPA
S1	20	20	20	20	20	5	10

Os ganhos líquidos acumulados para cada estratégia individual seguem abaixo:

$$B_{1u} = 117.815,9 (\pm 4.261,3)$$

$$B_{1s} = 104.894,6 (\pm 4.340,9)$$

$$B_{1a} = 92.630,1 (\pm 4.933,5)$$

O teste T de Student comparando b_s com b_u resulta um valor de -21,24, que indica que b_s é menor do que b_u com um grau de confiabilidade maior que 0,001%. Isso implica que a hipótese H3 **não foi confirmada** nesse experimento do PartNET+ com os parâmetros utilizados.

O gráfico da Figura 7.11 auxilia a visualização do ocorrido:

Figura 7.11 Análise gráfica da hipótese H3 no PartNET+

Não foi possível observar a hipótese H3 nos experimentos realizados, provavelmente por uma ou mais das razões seguintes:

- (i) os parâmetros escolhidos não foram adequados;
- (ii) a quantidade de simulações não foi suficiente;
- (iii) a faixa estatística analisada foi pequena demais, levando a diferenças nos resultados em relação aos obtidos originalmente.

A **hipótese H4** diz que as sociedades heterogêneas têm um ganho acumulado maior do que a média dos ganhos acumulados das sociedades homogêneas. Para verificar essa hipótese, construiu-se um experimento com quatro modelos de sociedade, três homogêneas e uma heterogênea, para poder comparar a média dos ganhos líquidos das homogêneas com o ganho líquido da sociedade heterogênea. Os parâmetros utilizados estão listados abaixo:

Experimento E14:

#	nU	nS	nA	NAS	NGS	APA	GPA
SU	60	-	-	20	20	5	10
SS	-	60	-	20	20	5	10
SA	-	-	60	20	20	5	10
SM	20	20	20	20	20	5	10

Os ganhos líquidos acumulados para as quatro sociedades, obtidos experimentalmente, seguem abaixo:

$$B_u = 321.495,8 (\pm 6.781,8)$$

$$B_s = 317.428,4 (\pm 8.229,0)$$

$$B_a = 294.224,4 (\pm 7.263,2)$$

$$B_m = 315.340,6 (\pm 7.967,7)$$

Obtendo a média dos ganhos líquidos acumulados para as três sociedades homogêneas, temos:

$$B_{u+s+a} = 311.049,5 (\pm 14.128,6)$$

O teste T de Student para as duas amostras, B_m contra B_{u+s+a} dá como resultado 2,89, o que possibilita afirmar com 99,9% de certeza que a amostra heterogênea é maior do que a homogênea; isso pode ser mais bem observado no gráfico da Figura 7.12.

Figura 7.12 Análise gráfica da hipótese H4 no PartNET+

Dessa forma, pode-se observar a hipótese H4 por meio do experimento realizado. Entretanto, em variações deste experimento, realizadas para teste e comparações dos parâmetros, em geral, foi difícil encontrar condições para examinar essa hipótese.

Com um valor de APA igual a GPA, ou quando o valor de APA é maior que o de GPA, o comportamento da sociedade heterogênea fica abaixo da média dos homogêneos. Esse comportamento pode estar ligado à hipótese H2, que diz que os substancialistas obtêm melhor desempenho em sociedades com GPA maior. O aparente sucesso dos heterogêneos está intimamente relacionado ao sucesso dos substancialistas.

Como o objetivo do PartNET+ não é estender a funcionalidade do simulador original, mas sim estender sua capacidade operacional, não cabem aqui discussões sobre novas hipóteses experimentais. Um cientista social, entretanto, pode agora utilizar o PartNET+ com mais facilidade para testar novas hipóteses relacionadas ao mesmo nicho de pesquisa.

7.3.2. PartNET++

Para simular as mesmas condições e parâmetros utilizados no PartNET+, os novos parâmetros do PartNET++ (PPG, APP, STR e INT) são igualados a 1, de forma que não influenciem a demonstração da mesma hipótese.

No entanto, após a verificação das hipóteses, foram realizados outros experimentos comparativos, para verificar o efeito dos novos parâmetros nos resultados. Optou-se por não incluir neste trabalho a descrição experimental de cada um desses experimentos comparativos, aproveitando-se apenas o resultado dos mesmos. Essa decisão foi tomada porque os resultados servem apenas para uma análise, não sendo usados para formular nenhuma hipótese experimental, que estaria fora do escopo deste trabalho.

Da mesma forma que para os experimentos do PartNET+, os experimentos seguintes são descritos de forma tabular, sendo que cada linha corresponde a uma sociedade, e as colunas contêm, respectivamente, o nome da sociedade (#), o número de agentes utilitários (nU), o número de agentes substancialistas (nS), o número de agentes avaros (nA), o número de ações da sociedade (NAS), a quantidade de ações por agente (APA), a quantidade de objetivos por agente (GPA), a quantidade de planos por objetivo (PPG), a quantidade de ações por plano (APP), a estratificação da sociedade (STR) e a intolerância da sociedade (INT).

Relembrando que a **hipótese H1** constata que, em sociedades homogêneas, os utilitários superaram os substancialistas, que, por sua vez, superaram os avaros, em termos de ganho líquido, foram definidas três sociedades homogêneas com quantidades iguais de ações e objetivos por agente:

Experimento E21:

#	nU	nS	nA	NAS	APA	GPA	PPG	APP	STR	INT
SU	60	-	-	10	5	5	1	1	1	1
SS	-	60	-	10	5	5	1	1	1	1
SA	-	-	60	10	5	5	1	1	1	1

Os ganhos líquidos acumulados para as três sociedades, obtidos experimentalmente, foram:

$$B_U = 238.343,7 (\pm 7.826,7)$$

$$B_S = 239.568,5 (\pm 8.675,3)$$

$$B_A = 220.377,6 (\pm 8.571,4)$$

Estatisticamente, o teste T de Student entre B_U e B_S resulta um valor de -1,05, que indica que $B_U < B_S$ com um erro menor do que 0,15%, ou seja, a curva dos utilitários está muito próxima à dos substancialistas, negando parcialmente a hipótese experimental H1. Entre B_S e B_m o teste T retorna 15,74, que indica que os substancialistas são maiores do que os avaros com um erro significativamente menor do que 0,001%.

O gráfico das regressões permite observar isso com maior facilidade, o que pode ser observado na Figura 7.13.

Figura 7.13 Análise gráfica da hipótese H1 no PartNET++

Assim, percebe-se que a hipótese experimental H1 não se confirma utilizando apenas os parâmetros de compatibilidade com o PartNET+. Porém, ao se usar o parâmetro ações por plano (APP) igual a 2(dois), consegue-se observar a hipótese H1

confirmada com um erro inferior a 0,05%. O gráfico da Figura 7.14 demonstra esse resultado.

Figura 7.14 Análise gráfica da hipótese H1 com APP=2 no PartNET++

No entanto, ao aumentar APP para 3, observa-se um comportamento anômalo, segundo o qual os avaros superam os substancialistas. Percebe-se também que a ação benéfica do parâmetro APP parece compor harmonicamente com o aumento de STR.

Para observar a **hipótese H2**, que define que os substancialistas obtêm melhores resultados quando há um maior número de objetivos por agente na sociedade, é preciso atribuir parâmetros às duas sociedades compostas exclusivamente por substancialistas, com diferentes quantidades de objetivos por agente:

Experimento E22:

#	nU	nS	nA	NAS	APA	GPA	PPG	APP	STR	INT
S1	-	60	-	20	5	10	1	1	1	1
S2	-	60	-	20	5	5	1	1	1	1

Como no experimento E12, é necessário dividir os totais de cada simulação pelo número de parcerias obtidas.

Os ganhos líquidos acumulados sobre o total de parcerias obtidas para as duas sociedades seguem abaixo:

$$BP_1 = 2.250,8 (\pm 47,4)$$

$$BP_2 = 2.158,6 (\pm 54,4)$$

O teste T de Student entre BP_1 e BP_2 resulta um valor de 12,79, que indica que $BP_1 > BP_2$ com um erro menor do que 0,001%.

Analisando a Figura 7.15, pode-se observar claramente a diferença.

Figura 7.15 Análise gráfica da hipótese H2 no PartNET++

Assim, por meio desse experimento, observa-se que a hipótese H2 se confirma segundo os parâmetros experimentais adotados.

Para observar a **hipótese H3**, que define que os substancialistas acabam por exceder os utilitários em termos de ganho líquido acumulado em sociedades heterogêneas, atribuíram-se parâmetros a uma sociedade com 20 agentes de cada

tipo,. Então foram examinados os ganhos líquidos acumulados ao final da simulação para cada estratégia.

Os parâmetros utilizados foram:

Experimento E23:

#	nU	nS	nA	NAS	APA	GPA	PPG	APP	STR	INT
S1	20	20	20	20	5	10	1	1	1	1

Os ganhos líquidos acumulados para cada estratégia individual seguem abaixo:

$$B_u = 99.565,0 (\pm 4.237,7)$$

$$B_s = 102.201,2 (\pm 4.235,0)$$

$$B_a = 89.535,3 (\pm 4.938,0)$$

O teste T de Student comparando B_s com B_u resulta um valor de 4,38, que indica que B_s é maior do que B_u com um grau de confiabilidade maior que 0,01%. Isso implica que a hipótese H3 **se confirma** no PartNET++, apesar de não ter sido confirmada no PartNET+, conforme discutido na seção anterior.

Pode-se observar o gráfico da Figura 7.16, para visualizar esse resultado.

Figura 7.16 Análise gráfica da hipótese H3 no PartNET++

É interessante examinar que a hipótese H3 se confirma no PartNET++, mesmo alterando alguns parâmetros de simulação. Por exemplo, em um outro experimento realizado com APA e GPA iguais a 5, ainda observamos que os substancialistas acabam por superar os utilitários com uma margem de erro próxima de 5% a 10%.

A estratificação social também parece auxiliar os substancialistas em sociedades heterogêneas, sendo que em um experimento realizado com STR=2 a margem de erro é inferior a 5%, e com STR=3, o erro é próximo a 0,001%.

Aumentar a quantidade de planos por objetivo do agente também parece ter um efeito significativo, sendo que é possível observar H3 com um erro inferior a 0,001%, mesmo em um experimento realizado com GPA e APA iguais.

A **hipótese H4** define que, em sociedades heterogêneas, o ganho acumulado é maior do que a média dos ganhos acumulados em sociedades homogêneas semelhantes, e para observá-la foi necessário atribuir parâmetros a quatro sociedades, sendo uma homogênea para cada estratégia e uma heterogênea. Os parâmetros utilizados foram:

Experimento E24:

#	nU	nS	nA	NAS	APA	GPA	PPG	APP	STR	INT
SU	60	-	-	10	5	5	1	1	1	1
SS	-	60	-	10	5	5	1	1	1	1
SA	-	-	60	10	5	5	1	1	1	1
SM	20	20	20	10	5	5	1	1	1	1

Os ganhos líquidos acumulados para as quatro sociedades, obtidos experimentalmente, seguem abaixo:

$$B_u = 238.343,7 (\pm 7.826,7)$$

$$B_s = 239.568,5 (\pm 8.675,3)$$

$$B_a = 220.377,6 (\pm 8.571,4)$$

$$B_m = 233.602,8 (\pm 8.122,4)$$

Obtendo a média dos ganhos líquidos acumulados para as três sociedades homogêneas, temos:

$$B_{u+s+a} = 232.763,3 (\pm 4.587,8)$$

O teste T de Student para as duas amostras, B_m contra B_{u+s+a} resulta em 0,58, o que possibilita afirmar com 25% de erro que a amostra heterogênea é maior do que a média das homogêneas. O gráfico da Figura 7.17 permite visualizar melhor a situação.

Figura 7.17 Análise gráfica da hipótese H4 no PartNET++

Dessa forma, pelo experimento realizado, pode-se observar a hipótese H4 com uma taxa de erro elevada. Entretanto, variando os parâmetros da sociedade, é possível verificar outras condições em que a hipótese aparece de forma mais acentuada.

O valor de STR associado com a APP parece ter uma influência positiva na hipótese H4. Num experimento realizado com uma sociedade com STR=2, observa-se a hipótese com uma taxa de erro de 40%, e, quando se utiliza STR=2 e APP=2, a taxa de erro cai para 20%.

Em geral, a hipótese H4 é de difícil observação, tanto no PartNET+ quanto no PartNET++. Sob algumas condições especiais de parâmetros, entretanto, essa hipótese se comprova. Talvez com mais experimentos, variando os parâmetros STR, APP e GPP, seja possível obter melhores condições de observação dessa hipótese.

O PartNET++ permite observar todas as hipóteses experimentais originais com uma maior clareza do que o PartNET+, ainda mais quando os experimentos estão munidos dos novos parâmetros de simulação introduzidos nessa nova versão do simulador.

Utilizando essa ferramenta, um cientista social poderia então observar e elaborar diversas hipóteses, levando em conta os novos parâmetros.

7.4. Tempo de Simulação

O problema da simulação de parcerias com múltiplos agentes é NP completo, mesmo no caso mais simples de parcerias entre dois agentes.

Apesar disso, o tempo computacional das simulações não chegou a ser problemático para os experimentos realizados. Porém, pode-se perceber que o tempo de simulação cresce rapidamente, com uma pequena modificação nos parâmetros.

O hardware empregado nos testes foi um Athlon XP 2500+ Barton 333Mhz, com 1Gb de RAM executando o sistema operacional Windows XP SP2, com o ambiente Java instalado na versão 1.4.2_03.

Para sociedades com 60 agentes, o tempo de simulação não foi comprometedor, sendo possível obter resultados estatísticos de boa precisão, que se aproximaram significativamente dos resultados esperados.

Na Tabela IX do Anexo C, é possível observar o tempo de simulação médio dos experimentos realizados com o PartNET+, levando em conta que cada experimento foi realizado cem vezes para alcançar resultados estatísticos mais adequados. Na Tabela X, observa-se o tempo de simulação para o PartNET++. Para melhor esclarecer, a média dos tempos de simulação para o PartNET+ com os parâmetros utilizados foi em torno de 3 segundos, e para o PartNET++, o tempo foi ao redor de 10 segundos.

Observa-se que, no PartNET+, as simulações tendem a demorar mais para os avaros, talvez pelo fato de eles serem os menos flexíveis socialmente (como foi explicado na seção 4.5).

Ao variar os parâmetros experimentais, perceberam-se as seguintes alterações no tempo de simulação:

- ao dobrar o parâmetro APA, o tempo de simulação triplica, indo de aproximadamente 1s para aproximadamente 3s;
- ao dobrar o parâmetro GPA, o tempo também aumenta significativamente, indo de aproximadamente 1s para aproximadamente 2,5s;
- o aumento da quantidade de agentes na sociedade provoca um aumento no tempo aparentemente proporcional, sendo que uma sociedade com 30 agentes leva em média 1s, e uma com 60 leva em média 3s.

No PartNET++, as observações são similares. Porém, os novos parâmetros têm efeitos interessantes no tempo de simulação:

- aumentando o parâmetro NAS, obtém-se uma diminuição no tempo de simulação. Com o aumento do número de ações na sociedade, uma quantidade menor de parcerias se torna possível, visto que diminui a quantidade de agentes com capacidade de ajudar uns aos outros. Ao dobrar o valor de NAS, passando de 10 para 20, o tempo vai de aproximadamente 8s para cerca de 4,5s;
- dobrando-se o parâmetro GPA, obtém-se um aumento no tempo de simulação de quase 50%, elevando o tempo de aproximadamente 4,5s para uma média de 6,5s;
- dobrando-se o parâmetro APA, consegue-se um aumento de aproximadamente 100% no tempo de simulação, obtendo valores de 4,5s para APA=5 e 8s para APA=10.
- com APP=2, o tempo de simulação aumentou em quase 50%, indo de aproximadamente 8s para cerca de 12s. Elevando-se APP para 3, o tempo se eleva para aproximadamente 16s, totalizando um aumento de quase 100%.

- o parâmetro STR não parece ter grande influência no tempo de simulação, pois com valores de 1, 2 e 3 o tempo de simulação foi praticamente constante;
- o parâmetro PPG eleva consideravelmente o tempo de simulação, sendo que o aumento visível entre APP=1 e APP=2 foi de quase 100%, com um tempo de aproximadamente 16s no segundo caso.

Conclui-se que os parâmetros têm efeitos variados no tempo de simulação, de forma não linear.

Porém, para sociedades com uma quantidade de agentes na ordem de grandeza de uma centena, o tempo de simulação não foi elevado o suficiente para impedir o desenvolvimento do trabalho, possibilitando obter resultados bastante relevantes.

8. CONCLUSÕES

8.1. Resultados Obtidos

Conforme mencionado na seção 1.3, o objetivo central desse trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação baseada em multiagentes para calcular a emergência de parcerias entre múltiplos agentes. Tal ferramenta, denominada PartNET++, encontra-se descrita no capítulo 6. O código fonte do software, bem como todas as informações necessárias para executá-lo se encontram no CD em anexo. Assim, o objetivo principal do trabalho foi atingido.

Adicionalmente, realizou-se um estudo preliminar do efeito dos novos graus de liberdade inseridos no modelo de simulação sobre o ganho líquido das parcerias realizadas na sociedade, conforme mostram os resultados descritos na subseção 7.3.2.

8.2. Problemas Encontrados

O desenvolvimento do PartNET+ foi um processo bastante trabalhoso, em parte por dificuldades de contato com os autores originais, em parte pelo fato do código fonte do PART-NET ter sido escrito na linguagem C, há mais de cinco anos.

O arquivo binário recebido dos autores também não podia ser executado nas versões mais modernas de sistema operacional sem recompilar o código original.

A evolução dos compiladores de C e dos módulos utilizados no programa original impossibilitaram compilá-lo sem realizar modificações no código fonte, o que estava fora do escopo deste trabalho.

Dessa forma, muito pouco do software original pôde ser aproveitado no desenvolvimento da nova versão, além da dificuldade adicional de exemplos de execução e trechos do código terem sido comentados em italiano. Sendo assim, grande parte da implementação baseou-se apenas na descrição do algoritmo

encontrado em [CONTE'98], que é um artigo não muito extenso e detalhado no que se refere à implementação computacional do PART-NET.

Todavia, o software desenvolvido foi capaz de gerar resultados bastante semelhantes, com uma implementação própria do mesmo algoritmo, que no entanto pode não ter sido tão otimizada quanto a original.

Uma vez concluído, o PartNET+ serviu como base para implementar as novas funcionalidades pretendidas. Na implementação de parcerias entre múltiplos agentes utilizando o conceito de planos, ficou claro que o algoritmo original não mais seria suficiente. Era preciso procurar um novo algoritmo para lidar com os novos elementos de complexidade.

A idéia de utilizar grafos para representar a estrutura de dependência da sociedade, além de elegante, facilitou a representação computacional dos agentes no software, evitando a montagem da tabela PML e possibilitando o uso de bibliotecas pré-existentes para realizar cálculos e operações com grafos.

No entanto, como foi visto na seção 6.3.1, uma busca na literatura revelou que não havia um algoritmo específico de busca em grafos que resolvesse o problema. Assim, foi necessário desenvolver um novo algoritmo, com base no algoritmo utilizado no DEPINT [SICHMAN'95].

Localizar uma biblioteca para a representação e visualização de grafos em Java também não foi uma tarefa trivial, pois não havia muitas opções de escolha, sendo que as bibliotecas se dividiam em duas categorias: bibliotecas para desenhar grafos e bibliotecas para fazer cálculos com grafos. No Apêndice A, há uma análise comparativa entre as diversas bibliotecas encontradas, cujo resultado avalizou a escolha realizada.

A biblioteca selecionada [SALVO'02], porém, acabou servindo bastante bem ao seu propósito, facilitando o trabalho de extensão com um código fonte bastante organizado e bem escrito, além de algoritmos prontos para as tarefas mais simples, como busca em largura e busca em profundidade. A sua interface de visualização também se mostrou bastante apreciável.

As dificuldades encontradas, porém, puderam ser contornadas sem maiores problemas, e os resultados esperados foram atingidos quase completamente, com exceção do experimento E13.

8.3. Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de software, a partir de um precursor, o qual sofreu um processo de reengenharia, gerando um simulador intermediário, onde novas funcionalidades puderam ser implementadas e testadas.

Por meio desse desenvolvimento, foi possível estabelecer uma base para desenvolver novos simuladores em MABS. Acredita-se que o software desenvolvido possa ser reutilizado para construir outras aplicações similares, introduzindo funcionalidades conforme o necessário. As opções de melhoras são inúmeras.

Todos os agentes têm o conhecimento completo da sociedade onde estão inseridos, no modelo utilizado, e conhecem todas as relações de dependência existentes. Seria interessante introduzir uma representação subjetiva dos agentes, isto, é, cada agente teria apenas uma descrição dos outros agentes que ele conhecesse. Nesse caso, seria possível definir agentes especiais, que poderiam ou não participar de parcerias, com o papel de facilitadores (ou Brokers), cuja função seria de divulgar informações sobre os agentes do seu conhecimento. Assim, os agentes poderiam trocar informações entre si sobre as necessidades e capacidades dos outros, gerando um modelo mais realista de sociedades humanas.

Seguindo essa linha, outra possibilidade de trabalho futuro seria a inclusão de um modelo de reputação entre os agentes, de forma que estes pudessem avaliar a qualidade das suas parcerias e excluir ou privilegiar agentes específicos.

Outra vertente para melhoras é a modelagem de um ambiente que possa limitar a interação entre os agentes, através de recursos limitados e obstáculos, utilizando, por exemplo, um posicionamento espacial. Seria interessante observar se são formados grupos ou coalizões sociais restritos espacialmente.

Um fator limitante que não foi alterado com relação ao simulador original foram as definições de estratégias, continuando a haver apenas substancialistas, utilitários e avaros. Seria interessante observar o comportamento de outras estratégias, talvez levando em conta outros parâmetros além do benefício e do custo. Outra adição relevante seria um editor de estratégias semelhante ao utilizado no SIMULA [FROZZA'99].

No modelo usado no PartNET++, introduziram-se novos parâmetros sociais, resultado da inclusão de planos na arquitetura dos agentes. O parâmetro **stratification** foi explorado de alguma forma no novo simulador; porém o parâmetro **intolerance** não foi considerado na implementação, por aumentar a complexidade do algoritmo consideravelmente. Uma nova versão do simulador poderia implementar esse parâmetro, observar qual a sua influência nos resultados e como esse parâmetro interfere com as hipóteses experimentais descritas na seção 7.3.

As possibilidades de expansão do sistema desenvolvido são diversas, oferecendo ricas oportunidades de trabalhos futuros e cooperação com outros grupos de pesquisa.

8.4. Considerações Finais

Todo o trabalho de simulação pode ser refinado de forma incremental para aprimorar o modelo, de maneira a se aproximar mais e mais do alvo da simulação. Além disso, os resultados estatísticos ficam mais confiáveis quanto mais abundantes e diversos forem os dados.

Assim, seria sempre possível estender este trabalho, desenvolvendo modelos para simular sociedades de agentes que realizam parcerias com mais e mais precisão e detalhes.

Entretanto, ao analisar os resultados do trabalho realizado, é possível verificar que o novo sistema não somente estende o anterior, mas também oferece uma variedade de novos recursos para a exploração das parcerias entre múltiplos agentes em uma sociedade heterogênea.

Apesar de alguns dos resultados não estarem completamente de acordo com a versão original, o fator de sucesso foi considerável. Talvez com alguns ajustes finos na implementação do algoritmo, certos casos específicos de parcerias em situações problemáticas poderiam atingir um resultado ainda melhor.

De qualquer modo, os novos parâmetros de simulação possibilitam desenvolver experiências com novas teorias sociais. Além de realizar análises macroscópicas da sociedade como um todo, também é possível observar a estrutura microscópica de cada agente durante a simulação, acompanhando o andamento de suas escolhas.

Em termos operacionais, o novo sistema oferece uma interface clara e concisa, que torna o simulador mais acessível para usuários que não têm conhecimentos avançados em linguagens de programação, mas que precisam de uma ferramenta para testar conceitos e hipóteses em MABS.

Pelo mecanismo de visualização dos grafos de sociedade também é possível utilizar o simulador como uma ferramenta didática para exemplificar os diversos tipos de parcerias que podem surgir em uma sociedade de agentes.

Mesmo não sendo genérico o suficiente para abranger conceitos mais complexos em MABS, como a definição de um ambiente ou a comunicação entre agentes, o PartNET++ é uma base sólida para o desenvolvimento de outros simuladores que utilizem esses conceitos.

Enfim, por meio desse novo sistema, estudantes, professores, cientistas sociais e demais interessados na pesquisa de simulação social de parcerias entre agentes com o uso de ferramentas computacionais têm agora à disposição uma nova ferramenta, didática, extensível e de fácil utilização.

BIBLIOGRAFIA

- [BOUSQUET'98] BOUSQUET, F. et al. **Cormas: common-pool resources and multi-agent Systems**, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1416, p. 826-838, 1998.
- [CASTELFRANCHI'90] CASTELFRANCHI, C. **Social power a point missed in multi-agent**, DAI and HCI. In Y. Demazeau e J.P. Muller, editores, Decentralised AI., p. 49--62. Elsevier Science Publishers, 1990.
- [CASTELFRANCHI'98] CASTELFRANCHI, C.; CONTE, R.; VENEZIANO, V. **The Computer Simulation of Partnership Formation**, in Computational and Mathematical Organization Theory, p. 293-315, 1998.
- [CHARIKAR'98] CHARIKAR, M. et al. **Approximation Algorithms for Directed Steiner Problems**, Proceeding of the Ninth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. 1988.
- [CONTE'97] CONTE, R. **Diversity in rationality. A multi-agent perspective**, in: Dagstuhl Seminar on Social Science Microsimulation, maio 5-9, 1997.
- [CONTE'98] CONTE, R.; PEDONE, R. **Finding the Best Partner: The PART-NET System**, in: Proc. First International Workshop (MABS'98), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1534, Springer-Verlag, 1998 p. 156-168, Paris, França, julho 1998.
- [DEMAZEAU'90] DEMAZEAU, Y.; MULLER, J. **Decentralized artificial intelligence**, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., p. 3-13, 1990.

- [DEMAZEAU'95] DEMAZEAU, Y. **From Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems**, in: European Conference on Cognitive Sciences, 1995.
- [DURFEE'94] DURFEE, E.; ROSENSCHEIN, J. **Distributed Problem Solving and Multi-Agent Systems: Comparisons and Examples**, in Proceedings of the Thirteenth International Distributed Artificial Intelligence Workshop, p. 94-104, julho 1994.
- [EDMONDS'01] EDMONDS, B.; DAUTENHAHN, K. **Starting from Society: the Application of Social Analogies to Computational Systems**, The Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 4, editorial, janeiro de 2001, <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/1/0.html>>. Acesso em: 15 maio 2004.
- [GUTKNECHT'00] GUTKNECHT, O.; FERBER, J. **The MADKIT Agent Platform Architecture**, in Agents Workshop on Infrastructure for Multi-Agent Systems, p. 48-55, 2000.
- [FROZZA'98] FROZZA, R.; SORIO, F. **SIMULA -- Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes Reativos**. Não Publicado, Monografia, Porto Alegre, UFRGS, 1998.
- [FROZZA'99] FROZZA, R. **Estudo sobre Coordenação de Agentes em Ambientes Multiagentes**. Trabalho individual, Porto Alegre, 1999.
- [GALLO'92] GALLO, G. et al. **Directed Hypergraphs and Applications**, in Discrete Applied Mathematics, p. 177-201, 1992.
- [GASSER'01] GASSER, L.; KAKUGAWA, K. **MACE3J: Fast Flexible Distributed Simulation of Large, Large-Grain Multi-Agent Systems**,

in Proceedings of AAMAS-2002, GSLIS Tech Report [ISRN] UIUCLIS--2001/6+AMAS. Graduate School of Library and Information Science, University of Illinois, novembro de 2001.

[GILBERT'97] GILBERT, N. **Models, Processes and Algorithms: Towards a Simulation Toolkit**, in *Dagstuhl Seminar on Social Science Microsimulation*, maio de 1997.

[HOPCROFT'83] AHO,A.; HOPCROFT, J.; ULLMAN, J. **Data Structures and Algorithms**, Addison-Wesley, 1983.

[GILBERT'99] GILBERT, N.; TROITZSCH, K. **Simulation for the Social Scientist**, Open University Press, Celtic Court, 22 Baltimore, Buckingham, 1999.

[LANGTON'96] LANGTON, C. et al. **The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations**, junho 1996, disponível em: <<http://www.santafe.edu/projects/swarm>>. Acessado em: 15 maio 2004.

[MARIETTO'02] MARIETTO, M. et al. **Análise de Plataformas de Simulação Multiagentes**, Relatório Técnico nº. 02/2002 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

[MONTEIRO'03] MONTEIRO, J.; SICHMAN, J. **PartNet+: Simulando Parcerias entre Múltiplos Agentes**. in Proc. IV Encontro Nacional de Inteligência Artificial no XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC-ENIA'03), Campinas, Brasil, agosto 2003.

[PARKER'01] PARKER, M. **What is Ascape and Why Should You Care?** The Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 4, janeiro de

2001. Disponível em: <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/1/5.html>>. Acessado em: 15 maio 2004.

[RUSSEL'95] RUSSEK, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.

[SALVO'02] SALVO, J. **OpenJGraph – Java Graph and Graph Drawing Project** Versão 0.9.2. Disponibilizada em 5 de outubro de 2002, no endereço: <<http://openjgraph.sourceforge.net>>. Acessado em 15 maio 2004.

[SICHMAN'92] SICHMAN, J.; DEMAZEAU, Y.; BOISSIER, O. **When can knowledge-based systems be called agents?** In Proc. 9th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence (SBIA'92) Rio de Janeiro, Brasil, setembro 1992.

[SICHMAN'94a] SICHMAN, J. et al. **A social reasoning mechanism based on dependence networks**, in ECAI 94. 11th European Conference on Artificial Intelligence, p. 188-192. John Wiley and Sons, 1994.

[SICHMAN'94b] SICHMAN, J.; DEMAZEAU, Y. **Using class hierarchies to implement social reasoning in multi-agent systems**. In: Proc. 11th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence (SBIA'94) Fortaleza, Brasil, outubro 1994.

[SICHMAN'95] SICHMAN, J. **Du Raisonnement Social Chez les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance**. Tese de Doutorado. Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble, France, 1995.

- [SICHMAN'02] SICHMAN, J.; CONTE, R. **Multi-Agent Dependence by Dependence Graphs**. In AAMAS 2002. First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Itália, junho 2002.
- [SICHMAN'03] SICHMAN, J. **Raciocínio Social e Organizacional em Sistemas Multiagentes: Avanços e Perspectivas**. Tese de Livre-Docência, Escola Politécnica da USP, Brasil, 2003.
- [SPIEGEL'75] SPIEGEL, M. **Probability and Statistics**. McGraw-Hill: New York, 1975.
- [THIBLEBY'03] THIMBLEBY, H. **The Directed Chinese Postman Problem**. In Software - Practice & Experience, p. 1081-1096, 2003.
- [VENEZIANO'96] VENEZIANO, V.; CONTE, R.; CASTELFRANCHI, C. **MICROdep The Formation of Partnerships**. In MASSIM'96, Workshop on Multi-Agent Systems and Social Simulation, Universidade de Ulm, Alemanha, março de 1996.
- [VINCENT'01] VINCENT, R.; HORLING, B.; LESSER, V. **An Agent Infrastructure to Build and Evaluate Multi-Agent Systems: The Java Agent Framework and Multi-Agent System Simulator**. In Lecture Notes in Artificial Intelligence: Infrastructure for Agents, Multi-Agent Systems, and Scalable Multi-Agent Systems. Volume 1887. Wagner & Rana (eds.), Springer, p. 102–127, 2001.
- [WOOLDRIDGE'94] WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. **Intelligent Agents: Theory and Practice**. In Knowledge Engineering Review, outubro 1994, revisado em janeiro de 1995.

[YERGEAU'04] YERGEAU, F. et al.. **Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition)**. W3C Recommendation, 4 de fevereiro de 2004, disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204>>. Acessado em: 15 maio 2004.

ANEXOS

ANEXO A - ARQUIVOS XML

Exemplo de arquivo XML gerado para o simulador PartNET+:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<society current_cycle="1" simulation_time="00:00:03" partnerships="1">
  <generator max_actions="3" max_goals="3" actions_per_agent="1"
goals_per_agent="1" />
  <agent name="a0S" strategy="substantialist"
    gross_benefit="0" total_cost="0"
    objectives_reached="0">
    <goal name="g1" type="1" priority="1144" status="false" />
    <action name="a0" type="0" cost="187" status="false" />
  </agent>
  <agent name="a1S" strategy="substantialist"
    gross_benefit="1512" total_cost="840"
    objectives_reached="1">
    <goal name="g1" type="1" priority="1512" status="true" />
    <action name="a0" type="0" cost="267" status="true" />
  </agent>
  <agent name="a2S" strategy="substantialist"
    gross_benefit="1322" total_cost="267"
    objectives_reached="1">
    <goal name="g0" type="0" priority="1322" status="true" />
    <action name="a1" type="1" cost="840" status="true" />
  </agent>
  <pml>
    <match part1="a1S" part2="a2S"
      p1_goal="g1" p1_action="a0"
      p2_goal="g0" p2_action="a1" />
  </pml>
  <eml>
    <match part1="a1S" part2="a2S"
      p1_goal="g1" p1_action="a0"
      p2_goal="g0" p2_action="a1" />
    <match part1="a0S" part2="a2S"
      p1_goal="g1" p1_action="a0"
      p2_goal="g0" p2_action="a1" />
  </eml>
  <charts>
    <accumulated>
      <cycle s="0.0" u="0.0" m="0.0" t="0.0" />
      <cycle s="1727.0" u="0.0" m="0.0" t="1727.0" />
    </accumulated>
    <mean>
      <cycle s="0.0" u="0.0" m="0.0" t="0.0" />
      <cycle s="575.7" u="NaN" m="NaN" t="575.7" />
    </mean>
    <stdev>
      <cycle s="0.0" u="0.0" m="0.0" t="0.0" />
      <cycle s="534.1" u="-0.0" m="-0.0" t="534.1" />
    </stdev>
  </charts>
</society>
```

Exemplo de arquivo XML gerado para o simulador PartNET++:

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<society current_cycle="2" simulation_time="12:00:02" stratification="1"
  intolerance="1">
  <generator number_of_actions="3" actions_per_agent="2" goals_per_agent="1"
    plans_per_goal="1" actions_per_plan="2" />
  <agent name="ag1S" strategy="substantialist"
    gross_benefit="1087" total_cost="61"
    objectives_reached="1">
    <goal name="g11" priority="1087" status="true" />
    <plan name="p111" goal_achieved="g11">
      <action_ref name="a2" />
    </plan>
    <action name="a3" cost="190" status="false" />
    <action name="a1" cost="298" status="true" />
  </agent>
  <agent name="ag2S" strategy="substantialist"
    gross_benefit="1690" total_cost="298"
    objectives_reached="1">
    <goal name="g21" priority="1690" status="true" />
    <plan name="p211" goal_achieved="g21">
      <action_ref name="a1" />
    </plan>
    <action name="a3" cost="390" status="false" />
    <action name="a2" cost="61" status="true" />
  </agent>
  <agent name="ag3S" strategy="substantialist"
    gross_benefit="0" total_cost="0"
    objectives_reached="0">
    <goal name="g31" priority="1566" status="false" />
    <plan name="p311" goal_achieved="g31">
      <action_ref name="a1" />
    </plan>
    <action name="a3" cost="38" status="false" />
    <action name="a2" cost="399" status="false" />
  </agent>
  <matches>
    <and-match agent="ag1S" plan="p111">
      <or-match action="a2">
        <or-dep receiver="ag1S" plan="p111" action="a2" source="ag2S" />
        <or-dep receiver="ag2S" plan="p211" action="a1" source="ag1S" />
      </or-match>
    </and-match>
  </matches>
  <charts>
    <accumulated>
      <step s="0.0" u="0.0" m="0.0" t="0.0" />
      <step s="2418.0" u="0.0" m="0.0" t="2418.0" />
      <step s="2418.0" u="0.0" m="0.0" t="2418.0" />
    </accumulated>
    <mean>
      <step s="0.0" u="0.0" m="0.0" t="0.0" />
      <step s="806.0" u="0.0" m="0.0" t="806.0" />
      <step s="806.0" u="0.0" m="0.0" t="806.0" />
    </mean>
    <stdev>
      <step s="0.0" u="0.0" m="0.0" t="0.0" />
      <step s="721.6" u="0.0" m="0.0" t="721.6" />
      <step s="721.6" u="0.0" m="0.0" t="721.6" />
    </stdev>
  </charts>
</society>

```

ANEXO B - RESULTADOS DOS TESTES

Encontram-se abaixo os resultados dos experimentos realizados com os simuladores desenvolvidos.

Nas tabelas de I a IV, estão os experimentos realizados com o simulador PartNET+, para cada uma das quatro hipóteses experimentais estudadas. Nas tabelas V a VIII acham-se os experimentos realizados com o simulador PartNET++.

Os experimentos do PartNET+ são identificados por um número do tipo **na-ng-aa-ga-ssT**, sendo que **na** representa a quantidade de ações na sociedade (NAS); **ng**, a quantidade de objetivos na sociedade (NGS); **aa**, a quantidade de ações por agente (APA); **ga**, a quantidade de objetivos por agente (GPA); **ss**, a quantidade de agentes utilizada na simulação; e **T**, o tipo da sociedade, sendo um entre U (utilitários), S (substancialistas), M (avaros) e H (mistos).

Para o PartNET+ a identificação é ligeiramente modificada, sendo que o número é do tipo **na-aa-ga-app-ppg-str-int-ssT**, e os parâmetros de mesmo nome seguem a convenção do PartNET+. Os parâmetros adicionais são: **app**, que indica a quantidade máxima de ações por plano; **ppg**, que representa a quantidade de planos por objetivo; **str**, que indica a estratificação da sociedade; e **int**, que representa a intolerância social.

	20-20-5-10-60U				20-20-5-10-60S				20-20-5-10-60M		
#	Benefit	Partns	Time		Benefit	Partns	Time		Benefit	Partns	Time
0	319.059	144	1,86		323.722	143	1,58		277.772	143	3,02
1	318.966	141	1,73		331.476	143	1,44		293.698	145	3,16
2	327.693	147	1,76		320.194	142	1,45		305.882	146	3,16
3	306.446	139	1,62		326.726	145	1,56		297.079	144	3,02
4	319.771	147	1,80		315.163	141	1,47		303.798	143	2,83
5	336.633	145	1,75		318.032	144	1,47		291.737	145	3,06
6	319.491	142	1,83		322.707	144	1,53		292.252	144	3,17
7	309.881	143	1,77		316.325	142	1,41		292.977	145	3,47
8	332.242	143	1,84		320.583	146	1,64		294.385	147	3,75
9	317.561	145	1,94		317.168	144	1,55		302.999	145	3,64
10	332.394	143	1,83		323.944	145	1,64		304.795	147	3,86
11	331.451	145	2,02		321.886	145	1,58		283.265	145	3,91
12	326.298	146	2,02		318.572	142	1,52		301.829	147	4,05
13	331.648	145	1,97		309.590	143	1,61		293.010	144	3,86
14	324.162	148	2,12		321.362	143	1,89		299.441	145	4,39
15	314.957	145	1,89		318.132	142	1,77		283.689	146	4,27
16	331.160	147	1,92		306.917	142	1,67		289.811	146	4,41
17	319.849	145	2,02		310.252	145	1,69		282.442	144	4,22
18	321.166	143	2,02		318.372	139	1,55		302.639	147	4,62
19	327.228	146	2,05		321.867	144	1,73		281.888	141	4,39
20	310.102	139	1,97		323.512	143	1,76		297.422	146	4,55
21	322.801	145	2,03		329.759	146	1,92		302.300	144	4,98
22	325.516	144	2,11		320.528	143	1,75		287.932	145	5,03
23	318.812	144	2,25		302.316	140	1,75		290.663	142	5,22
24	321.224	143	2,09		321.192	144	1,81		306.002	147	4,75
25	318.340	148	1,97		318.522	147	1,84		291.934	147	5,19
26	312.568	143	2,33		322.996	140	1,69		293.973	145	5,27
27	307.278	140	2,17		319.433	147	1,92		286.795	146	5,47
28	326.175	144	2,23		307.349	142	1,92		282.718	145	5,47
29	317.773	144	2,20		315.436	141	1,89		285.762	141	4,81
30	322.548	145	2,25		327.257	145	1,94		303.504	146	5,28
31	311.117	145	2,28		316.249	141	1,95		310.760	145	5,47
32	317.292	141	2,22		312.415	143	2,06		291.273	146	5,66
33	325.598	144	2,28		317.354	145	1,94		292.124	144	5,53
34	323.153	145	2,22		326.461	145	1,97		292.052	148	5,55
35	335.669	143	2,34		332.020	146	2,00		295.935	146	5,69
36	320.506	146	2,33		304.960	139	1,98		290.078	147	6,69
37	329.324	145	2,55		306.214	140	2,02		290.907	146	6,23
38	309.382	144	2,34		324.136	145	2,41		291.511	143	6,08
39	315.674	144	2,39		326.935	144	2,55		296.159	145	5,83
40	328.033	143	2,42		318.675	144	2,11		287.915	141	5,98
41	322.923	145	2,45		303.632	141	2,20		290.847	146	6,34
42	315.014	142	2,45		311.591	144	2,11		287.863	143	6,00
43	320.769	147	2,62		305.324	137	1,94		284.258	144	7,05
44	321.430	141	2,42		314.920	141	1,98		296.244	145	6,45
45	323.249	141	2,45		318.201	141	2,17		296.975	146	7,12
46	313.433	143	2,48		320.412	144	2,36		292.857	141	6,38
47	313.211	141	2,52		328.080	145	2,64		300.996	146	5,89
48	314.767	145	2,56		319.756	146	2,47		310.789	143	5,00
49	328.261	144	2,56		327.512	145	2,27		305.779	147	6,06
50	312.801	146	2,59		329.945	145	2,80		290.544	147	5,72
51	322.326	144	2,61		318.431	145	2,31		301.586	146	6,17
52	316.393	140	2,84		293.320	142	2,47		295.021	146	6,30
53	325.888	141	2,69		305.161	135	2,56		293.811	147	6,27

54	321.770	145	2,70		318.248	142	2,56		290.243	147	6,33
55	325.835	145	2,69		340.605	146	2,44		290.535	145	6,52
56	311.456	142	2,69		319.850	144	2,58		298.265	146	6,73
57	315.938	140	2,61		308.922	141	2,39		296.199	146	5,97
58	325.045	144	2,75		322.545	144	2,78		290.310	145	6,38
59	322.022	146	2,80		318.049	142	2,91		293.168	146	6,36
60	312.170	141	2,48		309.733	143	2,72		296.092	146	6,83
61	320.727	145	2,80		313.867	143	2,74		301.690	146	7,16
62	324.609	145	2,78		323.929	142	2,70		301.582	145	6,58
63	325.113	144	3,05		324.070	139	2,34		287.504	145	6,67
64	311.716	145	2,83		319.184	144	2,73		288.260	143	6,34
65	325.561	144	2,81		320.809	142	2,69		289.173	144	6,72
66	338.998	145	2,66		315.009	145	3,28		292.431	147	6,80
67	321.810	142	2,89		320.554	144	3,08		281.943	144	7,24
68	322.815	146	3,14		323.682	143	3,05		299.926	145	7,74
69	321.238	145	2,86		317.235	144	3,23		283.584	142	8,27
70	320.878	142	2,92		307.403	141	2,92		286.502	146	7,72
71	311.353	144	2,94		309.143	141	2,83		278.187	143	7,69
72	321.850	142	2,98		299.374	139	2,73		294.120	146	7,74
73	315.292	140	2,97		328.641	145	3,25		302.523	145	7,55
74	321.410	143	3,03		322.843	143	4,08		302.888	146	8,39
75	322.655	143	2,97		319.325	141	2,73		295.291	147	7,53
76	318.452	140	2,77		332.165	145	3,42		293.435	142	7,24
77	322.805	145	3,09		314.997	142	3,78		296.049	145	8,14
78	311.669	140	3,03		331.054	145	2,97		298.925	144	8,19
79	327.705	143	3,03		317.954	141	3,12		287.412	145	8,23
80	324.229	140	3,09		318.421	143	3,41		296.696	143	8,56
81	323.575	143	3,08		316.264	142	3,38		300.528	147	7,95
82	334.833	145	2,92		310.001	142	3,81		297.728	143	8,97
83	333.647	147	3,19		304.627	140	3,47		299.596	148	8,88
84	321.834	145	3,47		304.466	143	3,28		295.062	144	11,92
85	321.535	145	3,27		314.304	142	3,20		303.209	144	8,36
86	316.797	147	3,25		319.551	143	3,97		292.964	143	10,00
87	321.525	141	2,92		308.470	142	3,31		280.504	146	10,59
88	321.080	142	3,30		303.936	141	3,30		280.124	143	10,08
89	324.153	143	3,27		313.289	142	3,42		285.663	144	8,81
90	329.972	146	3,27		313.601	144	3,41		299.604	144	9,20
91	321.693	143	3,28		312.052	143	3,66		289.098	144	10,08
92	317.015	144	3,30		316.482	140	3,48		298.090	147	9,38
93	325.066	143	3,33		326.103	146	3,64		299.838	146	10,36
94	326.432	144	3,38		301.478	138	3,67		296.691	144	10,70
95	320.162	144	3,31		319.930	142	3,53		296.247	146	10,05
96	313.598	147	3,45		311.044	142	3,61		309.174	146	9,80
97	321.834	146	3,41		322.621	141	3,78		298.622	146	10,20
98	332.101	143	3,39		313.491	143	4,69		299.673	146	10,33
99	320.201	144	3,67		320.520	140	3,80		296.412	146	9,39
média	321.495,8	143,8	2,578		317.428,4	142,8	2,51		294.224,4	145,0	6,50
desvio	6.718,8	2,1	0,512		8.229,0	2,2	0,78		7.263,2	1,6	2,11

Tabela I - Dados utilizados no experimento E11

	20-20-5-10-60S				20-20-5-5-60S		
#	Benefit	Partns			Benefit	Partns	
0	323.722	143	2263,79		243.494	115	2117,34
1	331.476	143	2318,01		232.429	118	1969,74

2	320.194	142	2254,89		234.414	115	2038,38
3	326.726	145	2253,28		256.378	124	2067,56
4	315.163	141	2235,20		249.258	119	2094,61
5	318.032	144	2208,56		227.342	111	2048,13
6	322.707	144	2241,02		246.219	120	2051,83
7	316.325	142	2227,64		232.234	112	2073,52
8	320.583	146	2195,77		252.114	119	2118,61
9	317.168	144	2202,56		246.409	119	2070,66
10	323.944	145	2234,10		240.032	112	2143,14
11	321.886	145	2219,90		241.378	118	2045,58
12	318.572	142	2243,46		233.920	116	2016,55
13	309.590	143	2164,97		254.175	120	2118,13
14	321.362	143	2247,29		245.254	115	2132,64
15	318.132	142	2240,37		239.509	117	2047,09
16	306.917	142	2161,39		244.167	116	2104,89
17	310.252	145	2139,67		249.796	119	2099,13
18	318.372	139	2290,45		242.958	117	2076,56
19	321.867	144	2235,19		248.138	118	2102,86
20	323.512	143	2262,32		241.905	120	2015,88
21	329.759	146	2258,62		236.889	111	2134,14
22	320.528	143	2241,45		227.356	109	2085,83
23	302.316	140	2159,40		241.247	112	2153,99
24	321.192	144	2230,50		244.830	119	2057,39
25	318.522	147	2166,82		235.370	114	2064,65
26	322.996	140	2307,11		246.563	116	2125,54
27	319.433	147	2173,01		238.294	118	2019,44
28	307.349	142	2164,43		248.582	116	2142,95
29	315.436	141	2237,13		248.033	117	2119,94
30	327.257	145	2256,94		245.306	121	2027,32
31	316.249	141	2242,90		240.302	115	2089,58
32	312.415	143	2184,72		236.013	118	2000,11
33	317.354	145	2188,65		252.692	123	2054,41
34	326.461	145	2251,46		222.646	109	2042,62
35	332.020	146	2274,11		226.286	114	1984,96
36	304.960	139	2193,96		259.809	122	2129,58
37	306.214	140	2187,24		239.148	114	2097,79
38	324.136	145	2235,42		247.674	123	2013,61
39	326.935	144	2270,38		233.010	114	2043,95
40	318.675	144	2213,02		234.025	115	2035,00
41	303.632	141	2153,42		226.609	110	2060,08
42	311.591	144	2163,83		247.327	120	2061,06
43	305.324	137	2228,64		219.312	107	2049,64
44	314.920	141	2233,48		245.797	118	2083,03
45	318.201	141	2256,74		253.569	124	2044,91
46	320.412	144	2225,08		231.057	117	1974,85
47	328.080	145	2262,62		238.197	116	2053,42
48	319.756	146	2190,11		239.535	115	2082,91
49	327.512	145	2258,70		256.534	119	2155,75
50	329.945	145	2275,48		237.114	114	2079,95
51	318.431	145	2196,08		238.255	119	2002,14
52	293.320	142	2065,63		249.429	117	2131,87
53	305.161	135	2260,45		241.042	113	2133,12
54	318.248	142	2241,18		227.192	110	2065,38
55	340.605	146	2332,91		240.785	113	2130,84
56	319.850	144	2221,18		228.921	115	1990,62
57	308.922	141	2190,94		232.853	116	2007,35
58	322.545	144	2239,90		252.322	118	2138,32

59	318.049	142	2239,78		238.001	116	2051,73
60	309.733	143	2165,97		239.988	116	2068,86
61	313.867	143	2194,87		254.984	122	2090,03
62	323.929	142	2281,19		246.440	116	2124,48
63	324.070	139	2331,44		226.268	115	1967,55
64	319.184	144	2216,56		236.892	116	2042,17
65	320.809	142	2259,22		231.268	111	2083,50
66	315.009	145	2172,48		223.524	107	2089,01
67	320.554	144	2226,07		234.902	118	1990,69
68	323.682	143	2263,51		229.585	114	2013,90
69	317.235	144	2203,02		228.191	117	1950,35
70	307.403	141	2180,16		253.781	121	2097,36
71	309.143	141	2192,50		234.924	114	2060,74
72	299.374	139	2153,77		247.507	116	2133,68
73	328.641	145	2266,49		235.627	116	2031,27
74	322.843	143	2257,64		232.779	111	2097,11
75	319.325	141	2264,72		231.347	109	2122,45
76	332.165	145	2290,79		259.998	117	2222,21
77	314.997	142	2218,29		233.055	115	2026,57
78	331.054	145	2283,13		228.004	111	2054,09
79	317.954	141	2254,99		224.815	113	1989,51
80	318.421	143	2226,72		228.602	114	2005,28
81	316.264	142	2227,21		234.630	112	2094,91
82	310.001	142	2183,11		247.199	115	2149,56
83	304.627	140	2175,91		237.027	116	2043,34
84	304.466	143	2129,13		242.777	115	2111,10
85	314.304	142	2213,41		230.224	108	2131,70
86	319.551	143	2234,62		224.099	109	2055,95
87	308.470	142	2172,32		253.714	117	2168,50
88	303.936	141	2155,57		233.967	113	2070,50
89	313.289	142	2206,26		224.015	109	2055,18
90	313.601	144	2177,78		246.066	121	2033,60
91	312.052	143	2182,18		241.807	117	2066,73
92	316.482	140	2260,59		245.611	119	2063,96
93	326.103	146	2233,58		231.088	112	2063,29
94	301.478	138	2184,62		241.384	118	2045,63
95	319.930	142	2253,03		240.048	114	2105,68
96	311.044	142	2190,45		232.419	114	2038,76
97	322.621	141	2288,09		236.649	111	2131,97
98	313.491	143	2192,24		233.792	112	2087,43
99	320.520	140	2289,43		230.434	111	2075,98
média	317.428,4	142,8	2.223,7		239.188,8	115,5	2.071,3
desvio	8.229,0	2,2	46,4		9.261,4	3,8	50,7

Tabela II - Dados utilizados no experimento E12

#	20-20-5-10-60H			Heterogeneous breakdown		
	Benefit	Partns	Time	Util	Subs	Miser
0	303.553	140	1,6	112.050	99.306	92.197
1	307.007	144	1,7	115.662	106.447	84.898
2	312.821	146	1,7	119.800	101.710	91.311
3	311.862	145	1,7	118.540	98.951	94.371
4	317.335	145	1,7	120.503	107.763	89.069
5	316.358	144	1,8	121.079	103.775	91.504
6	314.001	141	1,6	117.602	104.017	92.382

7	321.560	145	1,7		122.654	110.419	88.487
8	311.080	147	1,7		114.903	101.200	94.977
9	295.605	142	1,8		108.920	99.036	87.649
10	319.990	144	1,7		119.302	103.267	97.421
11	319.192	145	1,8		122.363	107.248	89.581
12	315.785	143	1,8		116.340	104.437	95.008
13	324.944	143	1,7		119.046	106.282	99.616
14	322.135	147	1,9		118.653	109.078	94.404
15	309.061	141	1,7		112.041	101.177	95.843
16	306.206	144	1,8		113.020	103.143	90.043
17	313.145	142	1,8		118.438	102.291	92.416
18	303.878	143	1,9		114.368	99.496	90.014
19	333.951	148	1,9		124.255	106.606	103.090
20	303.004	146	1,9		114.725	97.538	90.741
21	321.748	144	2,0		122.204	108.304	91.240
22	320.612	146	2,0		112.671	106.766	101.175
23	322.306	143	2,0		124.898	103.564	93.844
24	308.122	144	1,9		116.455	104.134	87.533
25	328.460	144	2,6		119.302	113.631	95.527
26	331.452	147	2,3		119.756	111.201	100.495
27	309.366	143	2,1		117.719	104.442	87.205
28	324.091	145	2,2		114.848	110.795	98.448
29	306.383	146	2,2		121.265	92.235	92.883
30	307.796	139	1,9		119.342	106.699	81.755
31	328.060	144	2,1		124.869	101.952	101.239
32	297.041	141	1,9		114.043	95.568	87.430
33	319.439	145	2,5		126.882	103.212	89.345
34	306.931	142	2,1		116.287	98.036	92.608
35	306.680	143	2,7		115.002	103.132	88.546
36	308.166	140	2,2		124.334	101.285	82.547
37	309.186	145	2,4		117.617	99.002	92.567
38	323.670	146	2,2		118.055	108.899	96.716
39	321.892	144	2,3		123.924	104.541	93.427
40	326.033	144	2,3		123.007	103.549	99.477
41	311.435	147	2,8		116.826	99.083	95.526
42	320.855	142	2,3		121.197	108.755	90.903
43	311.707	144	2,6		112.903	105.025	93.779
44	306.804	142	2,4		115.365	105.429	86.010
45	312.205	146	2,8		117.143	104.408	90.654
46	331.736	145	2,4		113.910	112.475	105.351
47	318.673	144	2,5		120.228	104.495	93.950
48	311.821	145	2,6		118.050	101.574	92.197
49	319.605	144	2,6		121.071	106.359	92.175
50	313.758	145	2,4		114.601	101.130	98.027
51	317.453	143	2,4		116.575	106.003	94.875
52	319.741	144	2,6		125.528	97.980	96.233
53	305.981	144	3,1		116.155	105.131	84.695
54	320.259	146	2,8		127.260	104.140	88.859
55	325.490	146	2,8		117.980	103.933	103.577
56	319.899	141	2,6		119.948	108.863	91.088
57	314.133	143	2,6		123.632	103.783	86.718
58	327.708	143	2,4		116.411	111.856	99.441
59	304.673	144	2,8		110.618	104.755	89.300
60	311.213	143	2,6		109.868	109.009	92.336
61	313.192	139	2,9		109.981	107.634	95.577
62	318.962	143	3,1		117.793	112.559	88.610
63	321.327	144	2,9		114.481	107.159	99.687

64	320.609	147	3,4	118.053	103.074	99.482
65	315.076	144	2,8	124.380	106.902	83.794
66	310.110	143	2,8	113.502	105.049	91.559
67	317.961	142	2,9	117.997	111.948	88.016
68	322.046	147	2,7	127.517	100.764	93.765
69	317.667	148	3,0	113.506	106.410	97.751
70	317.457	143	2,6	113.696	104.602	99.159
71	327.474	144	2,8	120.716	112.319	94.439
72	317.151	144	2,6	117.956	107.754	91.441
73	315.708	142	2,6	115.424	114.287	85.997
74	304.799	140	2,4	118.126	104.813	81.860
75	306.937	142	2,7	112.782	103.240	90.915
76	306.492	142	2,8	116.735	100.616	89.141
77	322.854	143	2,7	116.020	112.047	94.787
78	320.264	145	2,9	114.458	111.003	94.803
79	310.273	144	2,8	119.213	98.734	92.326
80	315.063	144	2,8	113.492	100.178	101.393
81	327.070	144	2,8	120.356	108.749	97.965
82	319.937	143	3,1	123.545	105.823	90.569
83	320.477	146	2,8	122.836	105.057	92.584
84	321.127	146	3,1	125.744	104.213	91.170
85	309.703	140	2,8	113.806	105.315	90.582
86	314.761	142	3,1	121.836	103.497	89.428
87	322.054	143	3,1	119.324	111.573	91.157
88	292.432	139	3,1	111.364	97.549	83.519
89	310.648	143	3,2	113.542	111.529	85.577
90	320.104	144	3,2	118.401	104.220	97.483
91	318.716	145	2,9	113.352	111.605	93.759
92	316.944	146	3,3	116.395	109.156	91.393
93	308.265	143	3,0	115.577	103.024	89.664
94	318.763	145	2,9	123.889	101.948	92.926
95	303.907	144	3,0	111.353	99.457	93.097
96	315.999	144	3,0	115.904	103.629	96.466
97	308.227	139	3,0	117.624	102.268	88.335
98	310.071	146	3,1	113.410	106.429	90.232
99	318.374	143	2,7	115.488	105.009	97.877
média	315.340,60	143,8	2,45	117.815,90	104.894,60	92.630,10
desvio	7.967,70	2	0,49	4.261,30	4.340,90	4.933,50

Tabela III - Dados utilizados no experimento E13

	20-20-10-5-60U	20-20-10-5-60S	20-20-10-5-60M	20-20-10-5-60H
#	Benefit	Benefit	Benefit	Benefit
0	331.830	296.241	316.573	299.641
1	318.212	294.190	333.723	313.211
2	332.855	278.663	321.793	306.238
3	325.979	286.520	317.378	313.418
4	322.188	291.499	321.210	308.999
5	321.142	291.648	326.199	315.600
6	315.104	289.535	308.753	314.454
7	319.434	292.559	320.111	306.725
8	323.989	290.275	313.284	316.793
9	321.863	301.984	336.473	303.106
10	317.619	300.407	324.159	310.987
11	327.505	289.614	315.437	313.894

12	318.338	288.724	314.078	309.116
13	334.055	290.707	329.794	316.842
14	331.675	289.724	315.733	317.273
15	322.336	279.957	333.392	299.889
16	311.399	293.770	324.966	298.416
17	332.034	296.831	314.624	316.335
18	313.014	307.095	313.642	318.123
19	321.021	286.857	324.747	315.331
20	324.924	284.481	325.328	325.290
21	316.731	295.669	314.963	309.262
22	323.193	302.038	328.777	317.823
23	315.979	287.747	330.694	316.280
24	316.022	295.410	321.764	327.004
25	301.279	293.212	318.450	303.053
26	323.077	300.501	332.231	316.423
27	318.082	288.123	300.255	305.066
28	328.315	285.725	326.393	314.854
29	322.935	291.719	328.072	305.682
30	326.156	285.720	325.764	303.150
31	330.116	297.693	329.660	321.299
32	322.958	301.958	322.766	311.340
33	319.929	304.501	324.162	306.008
34	323.064	286.013	325.923	327.893
35	327.706	298.555	308.576	311.376
36	321.040	290.250	310.829	313.849
37	326.945	289.024	325.799	314.873
38	315.962	280.966	315.930	303.375
39	306.072	307.822	329.870	304.164
40	315.264	285.981	317.019	307.129
41	324.148	299.598	317.182	308.708
42	322.846	283.890	314.982	304.425
43	314.491	298.137	316.499	298.861
44	319.129	293.400	330.561	321.657
45	325.627	279.973	329.559	312.851
46	332.972	285.268	312.277	304.349
47	335.400	295.459	324.496	316.004
48	316.318	286.946	314.991	326.033
49	319.435	298.331	326.346	305.617
50	324.906	284.882	322.854	299.862
51	320.605	280.990	315.465	304.492
52	315.340	282.134	321.764	305.144
53	323.141	281.080	327.612	309.465
54	314.510	302.722	323.012	289.201
55	315.811	289.683	326.233	309.851
56	315.395	294.806	331.807	306.630
57	328.273	301.152	330.840	325.447
58	320.588	300.593	316.817	306.919
59	325.641	301.625	314.567	302.131
60	334.995	284.458	317.530	301.978
61	322.713	287.483	313.358	302.416
62	332.199	299.567	318.697	315.601
63	315.477	293.431	321.015	314.482
64	318.376	288.150	327.271	308.529
65	322.891	295.412	314.418	308.064
66	315.963	278.060	317.658	318.636
67	326.822	295.713	310.662	316.454
68	327.317	302.474	314.571	310.885

69	311.976	295.944	308.203	311.044
70	330.894	291.686	327.835	313.300
71	309.465	294.294	323.778	325.831
72	329.037	297.085	312.046	309.034
73	308.266	289.519	322.416	315.457
74	325.207	294.576	313.401	313.224
75	319.963	307.852	316.862	295.005
76	328.097	288.975	311.294	310.908
77	324.882	290.409	319.984	304.020
78	323.040	286.975	329.410	314.399
79	322.902	295.327	316.111	321.169
80	332.950	279.113	309.417	318.549
81	309.467	290.515	319.730	319.444
82	322.217	297.140	328.378	297.016
83	325.928	292.501	329.163	302.805
84	312.697	275.158	311.441	318.010
85	326.071	283.090	298.201	304.075
86	326.618	284.483	322.665	307.038
87	333.161	289.335	303.758	290.117
88	322.382	299.722	320.550	320.071
89	317.245	290.266	328.350	300.678
90	330.790	300.256	322.037	303.452
91	317.982	301.395	310.286	315.164
92	313.269	285.010	313.911	317.326
93	331.878	293.805	325.810	297.685
94	324.528	297.419	315.971	301.921
95	337.708	292.912	308.831	301.152
96	310.449	293.481	329.198	309.177
97	313.619	285.252	323.555	289.857
98	332.952	299.532	316.676	294.377
99	324.640	303.625	327.146	300.225
média	322.189,5	292.219,8	320.287,5	309.758,1
desvio	7.188,8	7.254,4	7.687,6	8.409,6

Tabela IV - Dados utilizados no experimento E14

	10-5-5-1-1-1-1-60U				10-5-5-1-1-1-1-60S				10-5-5-1-1-1-1-60M			
#	Benefit	Partns	Time		Benefit	Partns	Time		Benefit	Partns	Time	
0	235.048	111	6,1		232.382	103	6,6		226.628	107	6,6	
1	244.264	109	7,1		246.441	113	5,6		219.685	108	6,1	
2	249.917	116	5,5		235.112	114	5,6		220.679	111	5,9	
3	222.680	103	5,7		234.525	111	5,8		228.117	111	5,8	
4	254.464	111	5,7		231.704	108	7,2		225.065	104	6,0	
5	236.668	112	5,8		237.186	105	6,0		228.750	107	7,9	
6	252.534	113	6,0		240.947	113	5,9		216.911	107	6,0	
7	247.994	115	6,2		241.248	113	5,8		204.747	103	7,1	
8	243.349	111	6,0		254.118	117	6,2		229.048	110	6,8	
9	234.256	109	6,6		230.049	108	6,7		227.841	112	6,6	
10	239.912	111	6,4		241.173	107	7,4		219.568	104	6,4	
11	232.522	107	7,2		247.146	111	7,0		222.477	106	7,5	
12	233.595	111	6,7		234.198	107	7,2		219.265	105	7,4	
13	236.960	106	7,2		247.644	111	6,7		227.599	106	7,1	
14	242.128	114	6,4		223.630	108	7,0		201.557	101	7,3	
15	246.014	113	8,4		241.435	113	7,0		217.671	111	6,8	
16	222.601	105	6,6		236.045	111	6,5		218.585	107	7,1	

17	230.869	110	6,9		248.376	116	8,4		217.533	108	8,6
18	238.545	112	6,3		237.083	111	6,6		223.970	110	7,0
19	245.405	111	6,6		240.544	111	6,9		210.372	105	6,7
20	243.725	111	6,3		223.883	109	8,5		218.432	108	6,7
21	241.505	106	6,9		238.525	110	6,7		225.498	109	6,2
22	230.708	112	6,0		235.520	105	6,1		236.742	107	7,3
23	235.497	105	6,7		238.592	108	8,7		234.497	110	9,1
24	232.173	108	6,7		252.862	115	6,9		226.185	109	6,8
25	246.426	116	6,1		245.335	110	7,1		215.101	103	7,0
26	243.679	113	6,7		221.099	100	6,3		229.103	107	6,7
27	229.655	106	6,6		240.850	109	6,4		213.435	106	7,5
28	232.750	106	7,2		242.125	111	9,2		222.113	105	6,2
29	249.601	112	6,3		235.187	109	6,5		209.071	104	6,6
30	234.709	106	7,0		230.604	103	9,6		225.115	105	6,8
31	243.233	114	6,3		245.717	111	8,4		221.263	107	6,6
32	252.896	119	6,2		241.163	111	6,5		217.509	108	7,5
33	235.788	112	9,1		231.600	110	7,0		226.902	110	9,0
34	219.120	104	7,3		232.347	106	9,2		228.728	111	6,7
35	237.712	116	6,4		254.916	109	7,2		225.499	109	7,4
36	242.578	111	7,3		243.138	110	9,6		193.004	101	7,6
37	246.085	110	6,5		227.925	107	6,6		213.137	104	7,1
38	250.849	115	6,5		230.637	107	7,0		224.789	105	7,2
39	242.272	114	8,4		238.016	112	7,1		227.662	109	7,1
40	236.927	111	6,9		255.474	113	7,6		240.333	114	7,5
41	234.502	110	7,0		238.984	108	7,0		220.890	110	7,1
42	246.908	115	6,4		223.905	101	7,6		201.667	99	7,5
43	240.352	109	7,1		245.711	111	6,8		229.670	107	7,2
44	237.979	110	6,6		246.463	118	6,8		227.329	105	7,4
45	235.810	109	7,4		243.852	111	10,3		217.518	104	8,6
46	243.216	114	6,7		248.885	112	7,2		226.572	106	7,5
47	237.378	109	8,7		250.388	112	7,3		210.043	100	7,9
48	228.617	108	7,6		228.976	106	9,1		204.296	102	10,1
49	228.709	109	7,0		230.740	106	9,7		215.050	108	7,5
50	248.187	109	7,3		255.475	114	9,5		213.030	103	6,5
51	240.083	116	7,8		233.970	116	7,4		217.291	102	7,8
52	245.862	111	9,1		226.489	107	7,2		219.127	103	7,8
53	240.284	117	9,1		237.787	107	7,2		233.219	112	7,4
54	232.661	106	7,6		249.000	109	8,4		229.962	108	7,7
55	258.296	114	7,3		244.675	112	7,6		211.992	105	7,8
56	235.004	110	7,2		240.902	108	7,9		215.933	110	7,6
57	240.190	113	7,5		245.006	110	10,1		212.866	101	5,5
58	239.724	112	7,5		226.106	104	7,8		232.982	112	7,5
59	238.116	111	7,3		230.586	110	7,9		223.984	108	7,6
60	238.384	112	7,5		253.537	114	7,6		224.600	108	7,6
61	238.408	111	8,7		241.285	108	7,7		227.080	111	7,8
62	239.327	108	10,2		238.607	106	9,1		217.542	102	8,0
63	235.318	108	7,7		248.761	109	8,0		216.282	104	8,7
64	245.340	112	7,6		229.015	108	7,6		209.556	102	8,7
65	240.207	113	7,5		234.557	106	8,2		214.755	98	8,7
66	245.252	114	7,6		245.458	116	7,7		210.315	106	8,6
67	239.966	112	8,0		244.200	112	8,0		232.986	112	7,9
68	243.362	106	8,1		229.529	103	7,9		215.247	107	8,1
69	233.375	111	7,8		246.060	111	8,2		222.789	105	9,5
70	243.863	115	10,4		249.873	111	8,1		214.219	106	10,9
71	243.334	113	8,1		229.399	107	8,3		216.937	106	11,2
72	236.729	108	7,8		243.581	114	8,2		226.145	110	8,0
73	252.674	114	9,0		256.783	115	8,1		222.098	107	8,7

74	232.801	108	8,2		226.902	105	8,3		219.287	104	8,4
75	214.942	102	8,2		239.570	111	9,5		230.157	111	8,3
76	234.282	109	8,2		237.780	108	9,1		227.775	106	8,8
77	233.652	110	8,2		249.027	113	8,1		232.151	111	8,6
78	246.444	111	8,1		238.475	112	8,3		222.738	108	8,4
79	235.596	108	8,1		234.434	109	11,5		219.598	107	11,7
80	232.016	114	8,3		222.100	104	8,6		220.129	106	8,4
81	240.158	113	8,1		224.156	101	8,8		233.451	111	8,4
82	228.447	109	8,6		258.466	115	8,5		209.688	106	9,3
83	237.150	104	11,6		247.301	113	8,5		231.576	109	12,8
84	232.866	107	8,4		236.854	106	8,8		208.685	100	8,8
85	230.803	110	8,4		242.668	109	8,8		229.806	104	9,4
86	239.724	113	11,3		253.864	114	8,5		215.147	106	9,1
87	230.610	103	11,0		244.044	108	8,9		217.809	102	8,9
88	241.160	110	8,9		235.999	106	8,9		219.388	103	9,4
89	236.213	108	8,5		227.774	108	9,1		210.881	102	9,5
90	231.992	108	8,8		241.234	113	10,3		209.314	105	9,4
91	239.656	111	8,7		241.045	112	8,9		219.770	104	8,9
92	219.613	101	9,5		245.823	118	11,4		225.955	112	9,1
93	231.185	105	8,9		237.987	112	9,1		213.663	101	9,5
94	226.115	111	8,9		236.121	111	12,0		209.580	103	10,2
95	250.611	116	11,6		244.412	111	8,8		211.671	104	10,0
96	229.640	106	8,9		247.009	111	9,1		212.427	103	9,7
97	242.955	111	9,1		238.388	112	8,7		217.433	108	9,6
98	233.352	108	9,1		233.086	104	9,7		234.229	112	9,3
99	237.356	112	8,9		247.285	112	9,2		221.290	110	9,1
média	238.343,7	110,3	7,65		239.568,5	109,8	7,95		220.377,6	106,4	7,96
desvio	7.826,7	3,5	1,31		8.675,3	3,7	1,31		8.571,4	3,5	1,33

Tabela V - Dados utilizados no experimento E21

#	20-5-10-1-1-1-1-60S				20-5-5-1-1-1-1-60S		
	Benefit	Partns			Benefit	Partns	
0	302.598	137	2208,7		237.420	110	2158,4
1	302.277	134	2255,8		214.890	104	2066,3
2	301.241	136	2215,0		236.817	110	2152,9
3	314.068	139	2259,5		230.698	107	2156,1
4	299.283	136	2200,6		232.711	107	2174,9
5	309.841	136	2278,2		223.407	105	2127,7
6	307.032	136	2257,6		223.353	103	2168,5
7	300.677	135	2227,2		214.094	104	2058,6
8	307.824	137	2246,9		233.329	107	2180,6
9	302.368	135	2239,8		225.841	107	2110,7
10	308.631	136	2269,3		221.248	103	2148,0
11	307.581	139	2212,8		235.285	106	2219,7
12	303.328	139	2182,2		241.752	111	2177,9
13	298.828	133	2246,8		238.772	112	2131,9
14	308.039	138	2232,2		210.490	98	2147,9
15	314.941	141	2233,6		235.810	113	2086,8
16	310.081	139	2230,8		224.775	103	2182,3
17	297.614	135	2204,5		246.138	110	2237,6
18	304.516	133	2289,6		233.867	106	2206,3
19	303.561	134	2265,4		222.813	104	2142,4
20	298.817	138	2165,3		236.693	110	2151,8
21	290.043	133	2180,8		227.788	106	2148,9

22	312.940	138	2267,7		223.974	110	2036,1
23	299.927	133	2255,1		222.331	105	2117,4
24	302.556	135	2241,2		249.196	111	2245,0
25	301.567	135	2233,8		227.525	105	2166,9
26	302.312	132	2290,2		238.120	108	2204,8
27	312.631	138	2265,4		244.637	109	2244,4
28	310.006	137	2262,8		227.044	104	2183,1
29	319.606	135	2367,5		222.287	104	2137,4
30	300.017	137	2189,9		237.379	112	2119,5
31	298.988	134	2231,3		225.922	106	2131,3
32	292.871	134	2185,6		236.911	109	2173,5
33	316.909	140	2263,6		233.957	106	2207,1
34	300.903	135	2228,9		228.588	109	2097,1
35	303.779	136	2233,7		229.923	106	2169,1
36	312.687	135	2316,2		227.038	101	2247,9
37	308.716	136	2270,0		236.138	114	2071,4
38	311.420	136	2289,9		237.955	111	2143,7
39	304.685	137	2224,0		216.495	104	2081,7
40	300.296	134	2241,0		235.276	108	2178,5
41	284.240	135	2105,5		252.928	116	2180,4
42	290.740	124	2344,7		228.804	111	2061,3
43	313.320	137	2287,0		242.116	110	2201,1
44	304.320	136	2237,6		223.870	104	2152,6
45	316.096	138	2290,6		243.217	111	2191,1
46	312.955	138	2267,8		236.526	109	2170,0
47	311.442	135	2307,0		223.144	107	2085,5
48	304.419	135	2255,0		225.705	100	2257,1
49	301.768	131	2303,6		225.157	105	2144,4
50	315.219	139	2267,8		214.209	101	2120,9
51	308.030	136	2264,9		224.991	105	2142,8
52	303.841	135	2250,7		236.829	107	2213,4
53	303.942	136	2234,9		240.548	111	2167,1
54	299.784	132	2271,1		227.506	105	2166,7
55	294.753	136	2167,3		241.930	110	2199,4
56	297.277	136	2185,9		237.852	108	2202,3
57	321.611	138	2330,5		231.827	111	2088,5
58	295.826	136	2175,2		239.419	113	2118,8
59	298.161	133	2241,8		244.517	112	2183,2
60	296.543	132	2246,5		232.128	109	2129,6
61	303.950	134	2268,3		236.223	109	2167,2
62	298.782	131	2280,8		224.494	107	2098,1
63	304.593	132	2307,5		206.080	97	2124,5
64	296.628	138	2149,5		247.347	110	2248,6
65	301.349	135	2232,2		237.481	109	2178,7
66	317.441	139	2283,7		231.110	109	2120,3
67	311.314	139	2239,7		224.445	106	2117,4
68	307.400	138	2227,5		235.517	114	2065,9
69	286.476	128	2238,1		249.487	108	2310,1
70	309.722	137	2260,7		253.072	113	2239,6
71	308.418	136	2267,8		234.418	110	2131,1
72	306.792	132	2324,2		224.039	106	2113,6
73	309.930	136	2278,9		228.947	101	2266,8
74	300.639	133	2260,4		236.041	112	2107,5
75	323.006	139	2323,8		215.575	103	2093,0
76	302.689	135	2242,1		243.814	110	2216,5
77	293.549	134	2190,7		240.115	111	2163,2
78	297.842	135	2206,2		226.590	106	2137,6

79	311.718	138	2258,8		244.632	113	2164,9
80	303.574	135	2248,7		233.052	112	2080,8
81	312.548	137	2281,4		219.763	101	2175,9
82	314.480	139	2262,4		229.080	110	2082,5
83	329.546	138	2388,0		251.454	115	2186,6
84	307.344	134	2293,6		229.832	105	2188,9
85	307.818	138	2230,6		226.709	105	2159,1
86	304.544	132	2307,2		231.304	108	2141,7
87	312.745	137	2282,8		239.660	110	2178,7
88	292.800	134	2185,1		244.176	114	2141,9
89	297.350	137	2170,4		241.753	106	2280,7
90	323.071	139	2324,3		237.039	106	2236,2
91	309.624	140	2211,6		243.057	108	2250,5
92	307.475	133	2311,8		256.448	114	2249,5
93	303.720	140	2169,4		229.822	108	2128,0
94	307.585	136	2261,7		241.834	111	2178,7
95	304.213	136	2236,9		238.738	113	2112,7
96	308.778	133	2321,6		242.183	111	2181,8
97	312.134	138	2261,8		234.196	110	2129,1
98	313.419	138	2271,2		223.391	106	2107,5
99	302.761	136	2226,2		234.663	110	2133,3
média	305.480,6	135,7	2250,8		232.894,9	107,9	2158,6
desvio	7.900,0	2,7	47,4		9.759,1	3,8	54,4

Tabela VI - Dados utilizados no experimento E22

	20-5-10-1-1-1-60H			Heterogeneous Breakdown		
#	Benefit	Partns	Time	Util	Subs	Miser
0	291.669	132	4,6	100.385	104.045	87.239
1	292.346	134	4,7	101.558	97.988	92.800
2	290.405	137	4,3	97.498	106.697	86.210
3	283.917	132	5,5	92.491	109.418	82.008
4	278.339	134	4,4	93.907	98.851	85.581
5	284.024	136	4,6	95.024	97.842	91.158
6	302.584	139	4,6	104.794	103.274	94.516
7	291.761	137	5,0	100.033	103.218	88.510
8	286.220	133	4,7	98.246	98.042	89.932
9	293.391	137	5,0	93.863	106.674	92.854
10	300.447	139	4,7	97.549	109.662	93.236
11	281.666	131	4,9	94.856	97.132	89.678
12	284.091	135	6,4	96.331	107.075	80.685
13	301.471	137	4,5	106.749	106.435	88.287
14	277.014	137	5,9	91.219	94.519	91.276
15	276.356	133	6,2	96.885	92.517	86.954
16	285.008	131	5,2	94.739	103.137	87.132
17	301.500	135	6,3	108.901	105.503	87.096
18	288.120	138	5,1	102.509	102.286	83.325
19	310.132	143	5,5	106.873	109.036	94.223
20	289.370	134	5,1	93.883	103.560	91.927
21	303.844	136	4,5	101.870	106.811	95.163
22	294.305	133	4,7	107.441	100.794	86.070
23	275.089	130	7,1	94.051	98.101	82.937
24	296.449	139	6,1	98.352	106.111	91.986
25	285.840	134	4,9	100.886	101.782	83.172
26	284.251	129	5,3	103.302	101.255	79.694

27	296.586	134	6,3		97.441	110.603	88.542
28	285.618	136	4,8		107.003	93.145	85.470
29	287.509	142	6,9		99.403	101.317	86.789
30	297.621	135	5,1		94.990	106.530	96.101
31	290.473	134	4,8		92.867	104.834	92.772
32	281.426	133	6,0		97.692	97.707	86.027
33	307.392	139	6,3		100.704	112.190	94.498
34	304.046	140	6,5		107.486	103.095	93.465
35	294.745	140	4,9		98.562	98.573	97.610
36	292.744	136	5,8		95.678	102.668	94.398
37	290.963	134	6,6		100.777	103.210	86.976
38	307.177	137	6,9		108.774	100.130	98.273
39	291.013	131	5,4		102.422	98.280	90.311
40	284.172	130	7,2		96.408	100.974	86.790
41	304.048	139	6,0		107.259	104.143	92.646
42	306.527	135	5,4		99.961	103.946	102.620
43	289.595	136	7,0		105.679	98.147	85.769
44	303.030	138	5,2		107.863	98.300	96.867
45	293.204	137	7,1		102.959	101.867	88.378
46	288.657	138	7,2		99.025	97.882	91.750
47	298.068	137	8,0		103.308	105.251	89.509
48	307.284	138	5,5		104.021	106.247	97.016
49	288.831	139	7,0		96.531	98.406	93.894
50	301.755	140	5,5		103.967	103.899	93.889
51	291.912	137	5,6		98.693	108.497	84.722
52	294.834	135	7,7		100.907	99.692	94.235
53	291.991	131	5,7		96.779	101.066	94.146
54	295.049	137	8,6		98.428	106.269	90.352
55	286.998	132	7,7		103.279	94.183	89.536
56	290.408	133	9,6		100.279	95.870	94.259
57	292.733	132	6,1		104.104	101.661	86.968
58	293.386	134	5,9		98.774	101.491	93.121
59	284.741	136	8,1		96.858	97.401	90.482
60	292.179	131	7,8		96.744	104.503	90.932
61	286.383	131	8,3		103.465	97.928	84.990
62	278.884	134	7,2		90.843	107.501	80.540
63	281.022	135	6,2		97.996	90.223	92.803
64	279.951	130	8,3		99.685	96.992	83.274
65	301.853	137	6,3		100.918	107.845	93.090
66	288.209	134	6,1		98.664	102.558	86.987
67	282.121	133	8,3		95.502	101.111	85.508
68	289.021	135	6,1		93.615	107.159	88.247
69	293.746	138	6,0		99.957	102.621	91.168
70	286.264	134	8,5		94.021	103.935	88.308
71	290.072	132	6,6		101.523	101.515	87.034
72	298.122	137	8,4		99.490	99.288	99.344
73	294.668	137	7,8		96.538	99.738	98.392
74	295.117	132	8,8		96.051	105.674	93.392
75	290.979	136	6,3		101.674	104.900	84.405
76	288.233	136	6,4		95.539	101.649	91.045
77	299.988	135	8,5		99.410	106.331	94.247
78	290.872	138	6,6		98.439	99.573	92.860
79	289.839	137	6,5		99.785	104.604	85.450
80	293.226	135	8,7		101.549	101.906	89.771
81	290.119	134	6,9		101.134	101.139	87.846
82	282.856	130	6,9		95.166	103.823	83.867
83	285.973	137	9,1		97.777	104.129	84.067

84	291.413	132	9,5		102.691	94.828	93.894
85	296.185	141	8,8		99.317	98.818	98.050
86	294.296	138	6,7		95.346	107.241	91.709
87	291.788	139	9,0		99.479	103.616	88.693
88	289.441	131	7,0		99.547	107.684	82.210
89	292.991	135	9,3		104.087	101.395	87.509
90	282.495	131	7,2		103.102	98.024	81.369
91	275.289	129	10,1		92.103	99.607	83.579
92	303.481	136	7,2		104.980	100.287	98.214
93	283.414	133	9,6		95.784	106.960	80.670
94	299.094	133	13,0		99.437	109.181	90.476
95	293.746	136	7,1		106.372	102.701	84.673
96	291.978	139	9,4		106.159	101.579	84.240
97	278.698	137	11,0		95.877	102.905	79.916
98	284.937	139	7,0		96.683	100.164	88.090
99	287.059	136	9,8		96.973	99.249	90.837
média	291.301,5	135,2	6,70		99.565,0	102.201,2	89.535,3
desvio	7.811,5	3,0	1,68		4.273,7	4.235,0	4.938,0

Tabela VII - Dados utilizados no experimento E23

#	Mistos	Média
0	236.422	231.353
1	256.938	236.797
2	236.067	235.236
3	226.819	228.441
4	229.225	237.078
5	238.057	234.201
6	224.971	236.797
7	223.303	231.330
8	246.325	242.172
9	238.769	230.715
10	238.619	233.551
11	231.313	234.048
12	232.116	229.019
13	237.723	237.401
14	238.785	222.438
15	232.043	235.040
16	227.662	225.744
17	233.977	232.259
18	230.955	233.199
19	236.305	232.107
20	218.150	228.680
21	234.486	235.176
22	235.986	234.323
23	226.667	236.195
24	234.670	237.073
25	229.230	235.621
26	236.190	231.294
27	234.378	227.980
28	236.376	232.329
29	237.027	231.286
30	243.965	230.143
31	231.129	236.738
32	245.828	237.189

33	241.480	231.430
34	217.921	226.732
35	233.482	239.376
36	221.785	226.240
37	234.892	229.049
38	222.052	235.425
39	227.607	235.983
40	235.981	244.245
41	220.958	231.459
42	243.995	224.160
43	230.640	238.578
44	234.388	237.257
45	237.907	232.393
46	235.388	239.558
47	217.943	232.603
48	226.769	220.630
49	233.072	224.833
50	236.832	238.897
51	211.851	230.448
52	234.099	230.493
53	237.545	237.097
54	230.422	237.208
55	242.628	238.321
56	240.042	230.613
57	224.781	232.687
58	231.151	232.937
59	243.637	230.895
60	231.529	238.840
61	243.044	235.591
62	223.710	231.825
63	236.994	233.454
64	224.177	227.970
65	231.562	229.840
66	244.639	233.675
67	223.195	239.051
68	240.031	229.379
69	237.275	234.075
70	240.980	235.985
71	220.984	229.890
72	241.587	235.485
73	230.478	243.852
74	214.515	226.330
75	229.530	228.223
76	236.857	233.279
77	242.311	238.277
78	226.366	235.886
79	247.974	229.876
80	244.572	224.748
81	246.920	232.588
82	242.876	232.200
83	222.761	238.676
84	242.848	226.135
85	222.921	234.426
86	232.684	236.245
87	229.330	230.821
88	244.658	232.182
89	230.649	224.956

90	234.946	227.513
91	233.296	233.490
92	231.142	230.464
93	237.829	227.612
94	223.191	223.939
95	246.628	235.565
96	234.094	229.692
97	232.279	232.925
98	233.738	233.556
99	235.458	235.310
média	233.602,8	232.763,3
desvio	8.122,4	12.113,5

Tabela VIII - Dados utilizados no experimento E24

ANEXO C - TEMPOS DE SIMULAÇÃO

A seguir estão listadas as tabelas que compreendem os tempos de simulação decorrentes das execuções dos simuladores PartNET+ (Tabela IX) e PartNET++ (Tabela X).

Os nomes das sociedades seguem a convenção colocada no Anexo B. A segunda e a terceira colunas representam, respectivamente, a média do tempo de simulação em segundos ($mt(s)$) nos cem experimentos, e o desvio padrão dessa média (d_{mt}).

sociedade	mt(s)	d_{mt}(s)
10-10-5-5-30U	1,04	0,19
10-10-5-5-30S	1,10	0,24
10-10-5-5-30M	1,46	0,36
10-10-5-5-30H	0,88	0,16
20-20-10-5-60U	2,69	0,62
20-20-10-5-60S	3,50	0,97
20-20-10-5-60M	3,74	1,06
20-20-10-5-60H	2,46	0,49
20-20-5-10-60U	2,58	0,51
20-20-5-10-60S	2,51	0,78
20-20-5-10-60M	6,50	2,11
20-20-5-10-60H	2,45	0,49
20-20-5-5-60U	0,95	0,23
20-20-5-5-60S	0,95	0,22
20-20-5-5-60M	1,26	0,37
20-20-5-5-60H	0,84	0,22
10-10-5-5-60U	3,23	0,76
10-10-5-5-60S	3,18	0,87
10-10-5-5-60M	4,64	1,39
10-10-5-5-60H	2,41	0,52

Tabela IX - Tempos de simulação no PartNET+

sociedade	Mt(s)	d_{mt}(s)
10-5-5-1-1-1-1-60U	7,65	1,31
10-5-5-1-1-1-1-60S	7,95	1,31
10-5-5-1-1-1-1-60M	7,96	1,33
10-5-5-1-1-1-1-60H	7,87	1,12

20-5-5-1-1-1-1-60U	4,46	1,30
20-5-5-1-1-1-1-60S	4,55	1,35
20-5-5-1-1-1-1-60M	4,59	1,26
20-5-5-1-1-1-1-60H	4,54	1,33
20-5-10-1-1-1-1-60U	6,69	1,51
20-5-10-1-1-1-1-60S	6,66	1,39
20-5-10-1-1-1-1-60M	6,64	1,39
20-5-10-1-1-1-1-60H	6,70	1,68
20-10-5-1-1-1-1-60U	8,06	1,44
20-10-5-1-1-1-1-60S	8,02	1,46
20-10-5-1-1-1-1-60M	8,05	1,47
20-10-5-1-1-1-1-60H	8,20	1,63
10-5-5-1-2-1-1-60U	12,28	1,57
10-5-5-1-2-1-1-60S	12,34	1,34
10-5-5-1-2-1-1-60M	12,85	1,79
10-5-5-1-2-1-1-60H	12,34	1,33
10-5-5-1-3-1-1-60U	16,28	2,33
10-5-5-1-3-1-1-60S	16,82	2,06
10-5-5-1-3-1-1-60M	16,48	7,69
10-5-5-1-3-1-1-60H	17,24	2,00
10-5-5-1-1-2-1-60U	7,73	1,15
10-5-5-1-1-2-1-60S	7,79	1,29
10-5-5-1-1-2-1-60M	8,07	1,26
10-5-5-1-1-2-1-60H	8,10	1,35
10-5-5-1-1-3-1-60U	7,89	1,45
10-5-5-1-1-3-1-60S	7,85	1,38
10-5-5-1-1-3-1-60M	8,17	1,26
10-5-5-1-1-3-1-60H	8,05	1,13
10-5-5-1-2-2-1-60U	12,38	1,49
10-5-5-1-2-2-1-60S	12,75	1,62
10-5-5-1-2-2-1-60M	12,78	1,50
10-5-5-1-2-2-1-60H	12,54	1,56
10-5-5-2-1-1-1-60U	15,74	1,60
10-5-5-2-1-1-1-60S	14,96	1,24
10-5-5-2-1-1-1-60M	17,27	1,92
10-5-5-2-1-1-1-60H	15,69	1,48
10-5-5-1-1-1-1-30U	1,71	0,40
10-5-5-1-1-1-1-30S	1,64	0,40
10-5-5-1-1-1-1-30M	1,67	0,41
10-5-5-1-1-1-1-30H	1,69	0,39

Tabela X - Tempo de simulação no PartNET++

APÊNDICES

APÊNDICE A - AVALIAÇÃO DAS BIBLIOTECAS DE GRAFOS EM JAVA

Ao adotar a idéia de utilizar grafos para representar as relações de dependência entre os agentes no PartNET++, foi necessário buscar uma biblioteca para implementar tanto a representação visual como o algoritmo necessário para localizar ciclos no grafo.

Os seguintes critérios foram estabelecidos para avaliar as bibliotecas encontradas:

- C1.Capacidade de representar grafos n-partite**
- C2.Capacidade de encontrar ciclos em grafos pesados e direcionados(WDG)**
- C3.Capacidade de achar o menor ciclo em um WDG de comprimento X**
- C4.Facilidade de extensão**
- C5.Componentes visuais adequados**

Biblioteca	OpenJGraph
Autor	Jesus M. Salvo Jr.
Site	http://openjgraph.sourceforge.net/ (acessível em: 15 maio 2004)
Licença	GNU LGPL
C1	Apenas representa grafos pesados e grafos direcionados, não os dois juntos.
C2	Possui algoritmos para achar o menor caminho num grafo pesado e travessia em profundidade e largura.
C3	Não apresenta, seria necessário estender.
C4	Razoavelmente extensível, o código é bastante claro, porém existem algumas convenções a serem seguidas.
C5	Existe um componente para exibir grafos e um componente para editar grafos. Tem um mecanismo de auto-organizar visualmente os grafos, inclusive uma variante que utiliza repulsão para organizar o grafo.

Biblioteca	Jgraph
Autor	Gaudenz Alder
Site	http://www.jgraph.com/ (acessível em: 15 maio 2004)
Licença	GNU LGPL
C1	Os grafos são definidos por nós, arestas e conectores. As arestas podem ser pesadas ou direcionadas.
C2	A biblioteca não vem com nenhum algoritmo implementado.

C3	A biblioteca não vem com nenhum algoritmo implementado.
C4	Essa biblioteca é mais voltada para apresentar os grafos e não é muito prática para fazer cálculos com eles. Além disso, a forma de criar grafos e manipulá-los é muito complexa.
C5	A parte visual é excelente, permite desenhar qualquer tipo de grafo, com vários formatos de nós e arestas. Existe um programa exemplo que vem com o pacote, que é um editor de grafos.

Biblioteca	GEF
Autor	Jason Robbins
Site	http://gef.tigris.org/ (acessível em: 15 maio 2004)
Licença	BSD
C1	Os grafos são definidos por nós, arestas e conectores. As arestas podem ser pesadas ou direcionadas, semelhante à biblioteca JGraph.
C2	A biblioteca não vem com nenhum algoritmo implementado.
C3	A biblioteca não vem com nenhum algoritmo implementado.
C4	Essa é outra biblioteca construída ao redor de um aplicativo para desenhar grafos, portanto é complicada demais para utilizar no cálculo com grafos.
C5	A parte visual é muito avançada. O pacote inclui um software de demonstração da biblioteca. Suporta múltiplas camadas de grafos.

Biblioteca	GTL
Autores	Michael Forster, Andreas Pick, Marcus Raitner
Site	http://infosun.fmi.uni-passau.de/GTL/ (acessível em: 15 maio 2004)
Licença	copyrighted by the University of Passau, livre para uso não comercial.
C1	Representa grafos direcionados, mas não pesados.
C2	Já vem com algoritmos para travessia em profundidade e largura.
C3	Precisa ser implementado.
C4	Biblioteca em C++, com uma interface para Java. Isso pode ser um problema, pois um aplicativo não 100% Java não roda em todas as plataformas.
C5	Não possui parte visual.

Biblioteca	JGAP
Autor	Ding-Yi Chen, Tyng-Ruey Chuang, Shi-Chun Tsai
Site	http://www.csie.nctu.edu.tw/~sctsai/definite/JGAP/JGAP.html (acessível em: 15 maio 2004)
Licença	Gratuita
C1	Representa grafos direcionados e pesados completamente. Possui um gerador aleatório de grafos bipartite.
C2	Possui algoritmos para busca em profundidade, largura, caminho mais curto por Dijkstra e Bellman-Ford
C3	Precisa ser implementado.
C4	É uma biblioteca que foi resultado de um artigo dos autores. Bastante simples e direta. Voltada para ser utilizada em um Applet. Para estendê-la seria necessário um trabalho considerável.

C5	Interface gráfica limitada, utilizando a biblioteca gráfica antiga do Java (AWT), porém funcional. Seria preciso converter a parte de visualização para a interface Swing.
----	--

Resultados

Pode-se categorizar as bibliotecas encontradas em dois grupos: bibliotecas para desenhar grafos (Jgraph, GEF e OpenJGraph) e bibliotecas para realizar cálculos com eles (GTL, JGAP e OpenJGRaph).

A única biblioteca encontrada com uma parte visual bem desenvolvida e que também implementa algoritmos de busca é a OpenJGraph, e portanto foi escolhida para o desenvolvimento do PartNET++.