

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

CECILIA DIAS FLORES

**Negociação Pedagógica
Aplicada a um Ambiente Multiagente de
Aprendizagem Colaborativa**

Tese apresentada como requisito parcial para a
obtenção do grau de Doutor em Ciência da
Computação

Profa. Dra. Rosa Maria Vicari
Orientadora

Prof. Dr. Helder Manuel Ferreira Coelho
Co-orientador

Porto Alegre, julho de 2005.

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Flores, Cecília Dias

Negociação Pedagógica Aplicada a um Ambiente Multiagente de Aprendizagem colaborativa / Cecília Dias Flores – Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Computação, 2005.

121 f.:il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação. Porto Alegre, BR – RS, 2005. Orientador: Rosa Maria Vicari.

1. Negociação Pedagógica. 2. Agente Probabilístico 3. Ambiente de Aprendizagem Colaborativa. 4. Inteligência Artificial. I. Vicari, Rosa Maria. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. José Carlos Ferraz Hennemann

Vice-Reitor: Prof. Pedro Cezar Dutra Fonseca

Pró-Reitora de Pós-Graduação: Profa. Valquiria Linck Bassani

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

Coordenador do PPGC: Prof. Flávio Rech Wagner

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de estar neste mundo, e aos meus pais, Fernando Souto Dias e Nilza Souza Dias, e à minha família, por todo o amor, carinho, compreensão e respeito.

Aos amigos da UFRGS, professores, funcionários, colegas e alunos, que me "aturaram" por todos esses anos, tanto no curso de Ciência da Computação como na Faculdade de Medicina. Às muitas pessoas que passaram e passam pelo que eu passei e passo: o afastamento da família pela busca de um ideal.

Aos amigos internautas que, depois de tantas conversas, deixaram de ser os estranhos do outro lado do computador. Tenho muito a agradecer a todos, que são muitos. Não cito nomes, para não ser injusta com essas pessoas que também me ajudaram a chegar aonde já cheguei.

Meus agradecimentos especiais a:

- Neco, Rodrigo, Luiza e Caroline, por existirem e por resistirem a todos os tropeços e dificuldades junto a mim;
- Rosa Maria Vicari, pela orientação e pela amizade de tantos anos;
- Helder Coelho, pela colaboração e pela maravilhosa acolhida no Departamento de Informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal;
- Helena Pandikow e Ronaldo David, médicos da Famed/UFRGS, pelo empenho no projeto e por acreditarem na proposta;
- Ana, Lara, Nuno, Rosa, Paulo, Paulo, Paulo, Luis, Luis, Luis, João, João, João, Otília, Aurora, Fátima, José, amigos de longe, Portugal, minha segunda pátria;
- Louise e João, colegas de doutorado, pela cumplicidade e parceria na concepção do projeto AMPLIA;
- Marcelo, Charles, Filipo, Felipe, Diego, Leandro, Diego, Vinícius e Viviane, amigos de perto, pela ajuda efetiva na realização deste trabalho;
- FINEP, FAPERGS, CNPq, CAPES e UFRGS pelo apoio financeiro.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste sonho. Para vocês, ofereço esta página. Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	6
LISTA DE FIGURAS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
LISTA DE TABELAS.....	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÃO.....	13
1.2 DESAFIO.....	13
1.3 A PROPOSTA.....	15
1.4 QUESTÃO DE PESQUISA, PRESSUPOSTOS E OBJETIVOS	16
1.5 CONTRIBUIÇÃO.....	18
1.6 ORGANIZAÇÃO	19
2 ÁREAS DE PESQUISA RELACIONADAS	20
2.1 OS SISTEMAS MULTIAGENTE.....	20
2.1.1 A Relação entre o AMPLIA e os SMA	23
2.2 OS AGENTES PROBABILÍSTICOS.....	24
2.2.1 Rede Probabilística	24
2.2.2 Modelos de agentes Inteligentes Probabilísticos	25
2.2.3 Relação entre AMPLIA e Agente baseado em redes probabilísticas.....	28
2.3 NEGOCIAÇÃO AUTOMATIZADA	29
2.3.1 Negociação baseada na Teoria dos Jogos	31
2.3.2 Negociação baseada em modelos heurísticos	32
2.3.3 Negociação baseada na Argumentação.....	33
2.3.4 Uma noção geral sobre argumentação	34
2.3.5 Argumentação aplicada para disputar resoluções	34
2.3.6 Argumentação aplicada à aprendizagem colaborativa.....	35
2.3.7 Relação entre AMPLIA e Negociação.....	36
2.4 NEGOCIAÇÃO EM AMBIENTES DE APRENDIZAGEM COLABORATIVA.....	37
2.4.1 Espaços de Negociação.....	38
2.4.2 A Relação entre o AMPLIA e os Ambientes de Aprendizagem Colaborativa	41
3 A NEGOCIAÇÃO PEDAGÓGICA NO AMPLIA	42
3.1 INTRODUÇÃO.....	42

3.2	NEGOCIAÇÃO EM SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES	44
3.3	PERSPECTIVAS MULTIDISCIPLINARES EM NEGOCIAÇÃO	46
3.3.1	Pressupostos Implícitos da Negociação	47
3.3.2	Confiança e o Processo de Negociação	48
3.4	NEGOCIAÇÃO PEDAGÓGICA.....	50
3.4.1	Uma Definição Inicial para a Negociação Pedagógica.....	50
3.4.2	Cenários de Ensino-Aprendizagem.....	51
4	O PROJETO AMPLIA	53
4.1	DIRETRIZES DE PROJETO.....	53
4.1.1	Planos e camadas de abstração	54
4.1.2	Tipos de Agentes	56
4.1.3	Comunicação no AMPLIA	58
4.2	A ORGANIZAÇÃO INTERNA DOS AGENTES	59
4.2.1	O Agente Aprendiz.....	60
4.2.2	O Agente de Domínio.....	63
4.2.3	O Agente Mediador	70
4.3	ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	76
5	RESULTADOS OBTIDOS	77
5.1	ENSINO E APRENDIZAGEM NO AMPLIA	77
5.1.1	Construtivismo no AMPLIA	78
5.1.2	Dinâmica da Interação entre os Agentes.....	79
5.2	MODELO GERAL DA NEGOCIAÇÃO PEDAGÓGICA.....	85
5.2.1	O Objeto de Negociação do AMPLIA.....	86
5.2.2	Estados inicial e final da negociação	87
5.2.3	O Processo de negociação.....	89
5.3	CURSO DE EXTENSÃO PARA CAPACITAÇÃO DOCENTE.....	91
5.3.1	Metodologia aplicada.....	92
5.3.2	Exemplos de Negociação Pedagógica no ambiente AMPLIA.....	94
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
6	CONCLUSÃO.....	100
6.1	VISÃO GERAL DA TESE.....	100
6.2	CONTRIBUIÇÕES	101
6.3	TRABALHOS FUTUROS.....	102
	REFERÊNCIAS	103
	ANEXO A ANÁLISE EMPÍRICA DAS EQUAÇÕES DE P(NODOS) E P(ARCOS).....	110
	ANEXO B ESTRATÉGIAS PEDAGÓGICAS DO AMBIENTE AMPLIA	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRP	Agente Baseado em Rede Probabilística
ACL	Agent Communication Language
AI	Artificial Intelligence
AMPLIA	Ambiente Multiagente Probabilístico Inteligente de Aprendizagem
DAG	Directed Acyclic Graph
DAI	Distributed Artificial Intelligence
DPS	Distributed Problem Solving
HTML	Hypertext Markup Language
http	Hypertext Transfer Protocol
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
ITS	Intelligent Tutorial System
KIF	Knowledge Interchange Format
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
MAS	Multiagent Systems
PROMED	Programa de Incentivo às Mudanças Curriculares nas Escolas Médicas
SMA	Sistema Multiagente
STI	Sistemas Tutores Inteligentes
UFPe	Universidade Federal de Pelotas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
URL	Uniform Resource Locators
WWW	World Wide Web
XML	Extended Markup Language

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Estrutura de um Sistema Multiagente	22
Figura 1.2: Modelo de Coordenação.....	22
Figura. 4.1: A arquitetura multiagente do ambiente AMPLIA.....	57
Figura.4.2: A arquitetura interna dos agentes que compõem o ambiente AMPLIA.	59
Figura 4.3: Exemplo de <i>log</i> de alunos no AMPLIA	61
Figura 4.4: Rede Bayesiana do agente Aprendiz.....	62
Figura 4.5: Exemplo de simplificação do modelo bayesiano do especialista.....	65
Figura 4.6: Resultado da análise das relações.....	66
Figura 4.7: Resultado da análise dos nodos	67
Figura 4.8: Resultado final de uma avaliação quantitativa.....	69
Figura 4.9: Diagrama de influência para a seleção das estratégias.....	71
Figura 4.10: Probabilidades iniciais do nodo Problema Principal (<i>prob_princi</i>)	71
Figura 4.11: Probabilidades iniciais do nodo Rede do Aluno (<i>rede_aluno</i>).....	72
Figura 4.12: Tabela de probabilidades condicionais do nodo <i>confia</i>	72
Figura 5.1: Interface do editor colaborativo do ambiente AMPLIA	79
Figura 5.2: Seqüência de uma negociação pedagógica.....	80
Figura 5.3: (a) Construção da rede. (b) Declaração da <i>Autoconfiança</i>	81
Figura 5.4: (a) Auxílio pedagógico. (b) Reconstrução da rede.....	81
Figura 5.5: Resultado da inferência probabilística do agente Mediador	82
Figura 5.6: (a) Auxílio pedagógico (b) Reconstrução da rede.....	83
Figura 5.7: (a) Auxílio pedagógico (b) Tabela de probabilidades causais.	83
Figura 5.8: (a) Reconstrução da rede (b) Avaliação da performance	83
Figura 5.9: (a) Reconstrução da rede (b) Avaliação da performance	84
Figura 5.10: Agente de Domínio com a rede do especialista	84
Figura 5.11: Processo de Negociação Pedagógica do AMPLIA	90
Figura 5.12: Rede Bayesiana para avaliação cardíaca pré-operatória	92
Figura 5.13: Gráfico de acompanhamento da negociação com o aluno A	94

Figura 5.14: Gráfico de acompanhamento da negociação com o aluno B.....	95
Figura A.1: Rede de credibilidade do aluno 2 (esquerda) e aluno 5 (direita).....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Classificação dos Nodos.....	63
Tabela 4.2: Classificação da rede.....	71
Tabela 4.3: Quadro resumo das estratégias.....	73
Tabela 5.1: Programa do curso de extensão.....	92
Tabela A.1: Determinação do parâmetro de Credibilidade do Agente Aprendiz.....	113
Tabela B.1: Lista das estratégias e táticas relacionadas aos parâmetros de negociação Credibilidade, Autoconfiança e Qualidade da rede.....	116
Tabela B.2: Lista das táticas relacionadas ao problema principal identificado no modelo bayesiano do aluno e os argumentos (conteúdo das mensagens) repassados ao aluno.....	119
Tabela B.3: Lista dos argumentos gerados pelo agente Mediador relacionados à expectativas do agente Aprendiz quanto às próximas ações do aluno, bem como a avaliação esperada pelo agente de Domínio.....	122

RESUMO

Diferentes correntes da psicopedagogia apontam que a negociação é fundamental em interações de ensino-aprendizagem. No entanto, pouca pesquisa tem sido baseada em uma noção precisa do que é negociação e de como esta se relaciona com a aprendizagem. Este trabalho descreve um modelo para negociação pedagógica, aplicado a um ambiente multiagente de aprendizagem. Após discussão de exemplos ilustrativos e revisão bibliográfica de áreas de pesquisa relacionadas, a negociação é definida utilizando quatro características: o que está sendo negociado, os estados iniciais e finais de negociação e o processo de negociação em si. A tese concentra-se nos processos de negociação, para que um modelo seja desenvolvido baseado na interação argumentativa entre o sistema e o aluno, a partir da construção de redes bayesianas. É proposto que a atitude proposicional mais relevante para interações de negociação pedagógica está relacionada a um processo de *equalização* mútua de graus de confiança entre o professor e o aluno. Como conclusão, são apresentados os resultados alcançados, resumidos na implementação do Ambiente Multiagente Probabilístico Inteligente de Aprendizagem – AMPLIA. Os primeiros resultados da implementação do ambiente e o modelo geral da negociação pedagógica implantada puderam ser vistos durante um curso piloto realizado no Hospital de Clínicas de Porto Alegre.

Palavras-Chave: negociação pedagógica, agente probabilístico, ambiente de aprendizagem colaborativa, inteligência artificial.

Pedagogical Negotiation Applied in a Multi-Agent Colaborative Learning Environment

ABSTRACT

A number of different research lines within the Psychology of Education area have pointed out that negotiation is fundamental in interactions that take place in teaching and learning processes. Even though, a few studies have been carried out that are based on a precise notion of negotiation and on how it is associated with learning. The present dissertation describes a model of pedagogic negotiation applied to a multi-agent learning environment. Upon discussion of illustrative examples and a thorough bibliographic review, negotiation is defined as composed of four main elements: the negotiation object, initial and final states of the process, and the process itself. The present study focuses on the negotiation process in order to enable the development of a model based on the interactive argumentation that takes place between the system and the student, using the Bayesian networks technology. We propose that the most relevant action in pedagogic negotiation interaction is related to reaching a *balance* between the teacher's and the student's confidence levels. As a conclusion we present the outcomes of the pedagogic negotiation model proposed and implemented in a multi-agent environment (AMPLIA), which has already been tested in a seminar for medical professors at the Hospital de Clínicas de Porto Alegre.

Keywords: pedagogical negotiation, probabilistic agent, colaborative learning environment, artificial intelligence

1 INTRODUÇÃO

O propósito deste capítulo é apresentar a motivação e os desafios que inspiraram o trabalho, assim como a nossa proposta, as contribuições da pesquisa e uma visão geral da estrutura da tese.

1.1 Motivação

Uma primeira figura referente ao papel da negociação na aprendizagem poderia ser a de um professor catedrático que, expondo objetivos suficientemente sérios, mostra-se livremente disposto a discutir com os seus alunos a forma como a interação de ensino deve prosseguir e o que se pode considerar como uma solução aceitável para um determinado problema.

Entretanto, a posição teórica tradicional, em oposição à abordagem de *aprendizagem como negociação*, frequentemente é aquela que vê a *aprendizagem como transferência de conhecimento*. A visão de *transferência* está implicitamente presente em muitos trabalhos, tais como aqueles em que o objetivo do aluno está em interagir com o sistema visando à aquisição do modelo do domínio ali inserido, ou que o objetivo do sistema é gerar explicações para a transferência de seu conhecimento ao aluno.

Contrapõe-se a essa argumentação, o discurso dos modelos pedagógicos apoiados na epistemologia genética de Piaget (1971), no qual o conhecimento é construído pelo sujeito através da interação sujeito – objeto. Logo, nossa motivação está em propor um ambiente multiagente de aprendizagem que verdadeiramente abarque a idéia de negociação em um processo de ensino-aprendizagem.

Sob o ponto de vista do ensino médico, nossa motivação vem ao encontro das mudanças de diretrizes curriculares para os cursos de graduação em Medicina, aprovadas pelo Conselho Nacional de Educação e homologadas pelo Ministro de Estado da Educação no ano de 2001. Essas mudanças vêm sendo implantadas desde 2003 nas principais escolas de medicina do Brasil através do Programa de Incentivo às Mudanças Curriculares nas Escolas Médicas (PROMED). Dentre os objetivos desse programa, podemos citar “a mudança pedagógica na direção de um aprendizado mais ativo”, sendo esse um dos focos de nossa motivação neste trabalho.

1.2 Desafio

Na formação médica, o aluno deve ter a oportunidade de construir modelos diagnósticos de enfermidades, incluindo as causas prováveis, os sintomas associados e, finalmente, avaliar a aplicação do modelo. Desse modo, o aluno tem a oportunidade de, ativamente, aplicar estratégias de ação enquanto elabora o seu raciocínio diagnóstico. A educação médica normalmente utiliza recursos como discussão de casos, temas ou artigos em seminários presenciais (CNRM, 2002). Recursos da informática, como listas de discussão, teleconferências e *chats*, são utilizados para a comunicação na educação a distância. Entretanto, cada vez mais ambientes de aprendizagem informatizados, como

sistemas de apoio à decisão e sistemas de tutores inteligentes, buscam apoiar o processo de aprendizagem de acordo com as diferentes linhas pedagógicas.

O médico, por exemplo, pode diagnosticar uma doença baseando-se em alguns sintomas, mas esse diagnóstico é somente uma hipótese, pois pode estar errado. Esse erro pode estar vinculado ao conhecimento incompleto da patologia em questão, visto que sintomas determinantes ainda não foram detectados devido à evolução da doença, que se encontra em fase inicial. Mesmo assim, esse diagnóstico possui uma confiança maior do que um simples palpite. Atualmente, a forma de manipular a incerteza mencionada acima é oferecer à comunidade médica sistemas de apoio à decisão baseados em raciocínio probabilístico. Esses sistemas podem ser consultados por profissionais e, em alguns casos, utilizados como recursos pedagógicos. A dificuldade acadêmica encontra-se neste ponto: um aluno pode *consultar* um sistema desses e *reproduzir* uma hipótese diagnóstica do especialista, mas isso não garante que venha a *compreender* toda a sua complexidade e, muito menos, que seja capaz de *fazer o seu próprio* diagnóstico a partir de outro conjunto de variáveis. O ideal seria trabalhar com todas as hipóteses do especialista (desde que fosse possível) para que um aluno pudesse compreender *como e porque* determinado diagnóstico foi selecionado. Em outras palavras, é importante que o aluno tenha consciência de todas as etapas do processo que levam à construção e seleção de uma hipótese e não somente conheça o resultado final.

Este trabalho propõe um ambiente de aprendizagem que permita a alunos de medicina pôr em prática o desenvolvimento de seu raciocínio diagnóstico através da interação com um ambiente multiagente. Esse ambiente utiliza redes probabilísticas na modelagem dos agentes artificiais que habitam a sociedade de agentes. Em linhas gerais, o aluno modela em rede bayesiana um diagnóstico para um estudo de caso e o seu modelo é comparado ao modelo de um especialista do domínio, existente no sistema. As diferenças entre as redes são tratadas por meio de estratégias pedagógicas baseadas na interação e na negociação entre os agentes inteligentes do sistema e o aluno. O objetivo é, portanto, a educação de adultos, com orientação pedagógica que contempla o processo de aprendizagem ativa, na qual o aluno, ou aprendiz, é o centro do processo. Esse aluno possui experiências prévias, inclusive de caráter técnico-científico, visto tratar-se de um aluno do Curso de Medicina que deseja desenvolver o seu raciocínio diagnóstico. Para esse aluno, o objetivo é, além de acertar eficazmente o diagnóstico para um paciente, também entender como as diferentes variáveis (história clínica, sintomas, dados laboratoriais) relacionam-se probabilisticamente entre si.

O desafio está em criar um ambiente de aprendizagem que realmente utilize os dois conceitos-chave que permeiam a idéia de *negociação* em um processo de ensino-aprendizagem, com o propósito de estabelecer princípios de projeto que são: *simetria entre homem e máquina* e *existência de espaços de negociação*. O relacionamento entre o usuário e um sistema é geralmente assimétrico. Um exemplo que se pode citar são os próprios sistemas de apoio à decisão que argumentam independentemente do usuário, considerando apenas o seu conhecimento e inferência para solicitar dados ou gerar explicações. Nosso desafio está na busca de *simetria entre homem e máquina*. Essa simetria dá o mesmo alcance de ações possíveis ao usuário e ao sistema (em termos de tarefa e de comunicação) e direitos simétricos para tomada de decisões. Claro que, para uma negociação acontecer, deve haver algum *grau de latitude* disponível aos agentes – do contrário, não há nada que seja negociável. Isso define o espaço global de negociação dentro do qual os dois agentes tentam construir um entendimento compartilhado do problema e sua solução.

Logo, nosso desafio transcende os limites dos ambientes de aprendizagem médica, fornecendo-lhes um comportamento inteligente capaz de melhorar os resultados de apreensão de novos conteúdos.

1.3 A Proposta

A proposta é criar um ambiente inteligente que medeie (tutor inteligente) as discussões entre o aluno (humano) e o especialista (agente artificial), baseado em modelos do domínio, estruturas argumentativas e base de dados contendo casos reais. Os modelos do domínio são representados por redes bayesianas. As estruturas argumentativas são baseadas em estratégias pedagógicas construtivistas, cuja intenção é criar um contexto de diálogo interativo que permita ao aluno aprender através da construção de seu próprio modelo cognitivo (no caso, a solução para um diagnóstico). A base de dados contendo casos reais é utilizada para avaliação da performance tanto do modelo construído pelo aluno, como do construído pelo especialista. O foco desta tese em particular é tratar da negociação visando aumentar tão alto quanto possível (i) o desempenho de modelo do aluno em diagnosticar corretamente os casos reais, atingindo desempenho mais próximo ou superando o modelo do especialista; (ii) a confiança do professor / tutor em relação à capacidade do aluno em diagnosticar um caso; e (c) a confiança do aluno na sua capacidade de realizar um diagnóstico. Nesse contexto, através de um processo de negociação, que denominamos *negociação pedagógica*, o aluno e o ambiente mantêm uma interação mediada por um agente de negociação, cujas habilidades giram em torno da seleção da melhor estratégia pedagógica para o processo ensino-aprendizagem do aluno.

A negociação em IAD (BOND; GASSER, 1988) (JENNINGS, 2000) é vista quase que universalmente como um processo através do qual *conflitos* podem ser resolvidos. Nosso ponto de vista está mais proximamente relacionado a algumas áreas da teoria de agentes (GALLIERS, 1989). Não vemos a existência de *conflito* – se abertamente declarado e reconhecido ou não – como essencial à definição de negociação. O que basicamente se exige é que a interação entre os agentes possua um *objetivo mútuo* para alcançar um *acordo* em relação a um *objeto de negociação*. Normalmente, diversas dimensões do objeto de negociação serão negociadas simultaneamente. O estado inicial para uma negociação é então a *ausência de um acordo*, podendo ou não incluir conflito. Em interações de ensino-aprendizagem, a negociação pode ocorrer em três níveis principais: (1) comunicação (querendo dizer significados de expressões, palavras, etc.), (2) tarefa (estratégias para resolução de problemas, métodos, soluções, etc.), e (3) gerência de interação nos níveis 1 e 2 anteriores (coordenação, *feedback* em percepção, entendimento, atitudes) (ALLWOOD et al., 1991) (BUNT, 1989). Logo, *qualquer interação, conversa ou diálogo envolve negociação, pelo menos no primeiro nível*.

Sendo assim, na *negociação pedagógica* os agentes possuem objetivos comuns. Os acordos alcançados são normalmente 100% benéficos a todos os agentes e a negociação exige possibilidades de interação simétrica, ou seja, mesmo alcance de ações possíveis para o aluno e o ambiente.

AMPLIA¹, o ambiente proposto, fornece ao aluno uma ferramenta gráfica para modelagem bayesiana de seu conhecimento sobre um problema a ser diagnosticado, baseado num estudo de caso, proposto pelo sistema. O aluno, por sua vez, passa a

¹ AMPLIA – Ambiente Multiagente Probabilístico Inteligente de Aprendizagem

interagir com o sistema através da troca de mensagens com o agente que o representa no ambiente e da modificação de seu modelo bayesiano (modelo do conhecimento do aluno sobre o problema a ser resolvido). A cada ciclo de interação, o modelo bayesiano do aluno é submetido a uma avaliação pelo sistema.

A idéia central do AMPLIA está em estabelecer o foco da discussão à medida que a tarefa de modelagem diagnóstica do aluno vai avançando. A cada ciclo de discussão (submissão do modelo probabilístico do aluno), o AMPLIA avalia parâmetros estruturais (avaliação qualitativa e quantitativa da rede bayesiana) da discussão (modelo) e propõe novas interações entre o agente que representa o aluno e o agente que possui o conhecimento do especialista. Essas interações são baseadas em estratégias pedagógicas construtivistas específicas. Essa ação repete-se até que a discussão não avance mais, isto é, quando a avaliação dos parâmetros de negociação for considerada satisfatória pelo ambiente, quando o aluno solicitar a intervenção do professor humano ou quando o aluno decidir abandonar a interação.

1.4 Questão de pesquisa, Pressupostos e Objetivos

A partir da motivação, do desafio e da proposta anteriormente descritos, foram determinados os objetivos e os preceitos que nortearam o desenvolvimento deste projeto. Inicialmente, é necessário responder a seguinte questão de pesquisa:

- A negociação é útil em um processo de ensino-aprendizagem? Ou seja, tem alguma utilidade a implementação de um mecanismo de negociação pedagógica?

Para responder a essa questão, alguns pressupostos foram considerados, baseados em trabalhos anteriores (BAKER, 1994) (MOYSE; ELSOM-COOK, 1992) e no estado da arte em negociação sob o ponto de vista da IAD (JENNINGS, 2000). Esses pressupostos são apresentados e discutidos a seguir:

- **É possível estabelecer um processo de negociação com base em graus de confiança.** Acreditamos que o processo de ensino-aprendizagem pode ser visto como uma maneira de reduzir (ou eliminar) a assimetria inicial na relação de confiança² que professor e aluno têm sobre o tema que está sendo ensinado. Ou seja, a negociação tem por intuito abrir uma possibilidade de diálogo, argumentação ou colaboração por meio de uma provocação ou um questionamento que contribua mais para a construção dos conhecimentos que um simples convencimento em si. Para isso, envolve o grau de confiança que o aluno tem em seu modelo e nas argumentações apresentadas e, igualmente, a confiança que o professor tem em seu próprio modelo e no aluno. O professor, segundo o construtivismo (PIAGET, 1971), é o mediador e facilitador na relação do aluno com o objeto de conhecimento, conhecimento este que o próprio professor também construiu em algum momento. Isso não significa que esse seu (do professor) conhecimento seja o “único” ou o “certo”, pelo

² A noção de confiança adotada está voltada a uma expectativa de atos futuros de um agente, que é similar à noção de confiança (confidence) definida por Fischer e Ghidini (2002). A noção de confiança desses autores é baseada numa lógica modal de crenças e habilidades, que está intuitivamente de acordo com a idéia que confiamos em alguém quando sabemos como irá se comportar em determinadas situações. Subitem 3.1.3.

contrário, é “um dos possíveis para a resolução de um determinado problema”. Isso implica em aceitar que o próprio professor pode reavaliar as suas certezas, construindo outras, como resultado também de suas próprias interações com o seu aluno e/ou com o objeto propriamente dito. Confirma-se assim, na prática pedagógica, a teoria construtivista, onde todos, professores e alunos, estão sempre aprendendo um com o outro e com o meio. Assim, para que o AMPLIA possa atender à teoria construtivista é necessário que o “professor” do ambiente também ceda em sua certeza, partindo do princípio de que não somente o professor tem argumentos decisivos, mas o aluno também pode tê-los e expressá-los. Por essa razão, é proposto na arquitetura do AMPLIA, um agente, denominado Mediador, que é responsável por mediar a negociação, de modo a conseguir que professor e aluno tenham o máximo de confiança em si mesmos e no outro, com benefício mútuo. Na prática, o resultado final esperado da negociação é que as expectativas do aluno em relação ao professor e do professor em relação ao aluno se confirmem e que, portanto, um alto grau de confiança seja estabelecido entre eles.

- **É possível estabelecer negociação guiada por estratégias pedagógicas.** A negociação tem por intuito abrir uma possibilidade de diálogo, argumentação, colaboração, uma provocação ou um questionamento, que contribua mais para a construção dos conhecimentos que um simples convencimento em si. Para isso, envolve o uso intensivo de estratégias puramente pedagógicas. O papel do professor num processo de ensino-aprendizagem é prover argumentos suficientemente consistentes para que o aluno aceite negociar para obter melhores resultados ou diferentes soluções para a resolução do problema, ou seja, “fazer mais para conhecer mais”. Logo, a negociação se fundamenta no próprio processo de aprendizagem do aluno. Partindo do pressuposto de que sua capacidade de absorver e considerar que todos os achados de uma modelagem diagnóstica sejam afetados por sua própria experiência como profissional, o processo de negociação “intuitivamente” permite, por meio da argumentação, modificar as crenças do outro agente.
- **A seleção de estratégias pode ser realizada utilizando-se os conceitos de teoria da decisão e função de utilidade.** Na seleção das estratégias pedagógicas no AMPLIA são utilizados como parâmetros o resultado da avaliação da rede, o grau de confiança declarado pelo aluno e o nível de autonomia do aluno inferido pelo sistema. Acreditamos que, com o intuito de permitir a representação dessas relações de dependência entre esses parâmetros, e devido à necessidade de alterações frequentes para incorporar as constantes adequações ao processo ensino-aprendizagem, a unidade de tomada de decisão pode basear-se na avaliação de um diagrama de influência.
- **Os alunos de medicina conseguem representar seu conhecimento através de redes bayesianas.** O uso de redes bayesianas para modelar conhecimento incerto vem sendo bastante utilizado na área médica. Acreditamos que alunos de medicina têm plenas condições de aprender a expressar suas hipóteses diagnósticas através de redes bayesianas. Um exemplo que fortalece essa crença está no trabalho desenvolvido pelo Dr.

André Silvestre em sua dissertação de mestrado, onde aborda o uso de redes bayesianas na modelagem diagnóstica de enfermidades cardíológicas (SILVESTRE, 2003).

Para comprovação desses pressupostos, os seguintes objetivos devem ser atingidos:

- Construir um ambiente de aprendizagem para alunos de medicina cuja interação entre alunos e sistema seja mediada através de um processo de negociação pedagógica. Ou seja, fornecer ao ambiente AMPLIA um *framework* para negociação pedagógica;
- Usar esse ambiente em experiências de ensino concretas para comprovar se o processo de ensino-aprendizagem e negociação pedagógica realmente ocorre como previsto nas hipóteses de pesquisa;
- Generalizar os resultados obtidos das experiências de ensino com o ambiente através da criação de um modelo inicial dos efeitos da negociação pedagógica nos processos de ensino-aprendizagem.

1.5 Contribuição

A principal contribuição científica deste trabalho localiza-se na área de sistemas computacionais de ensino e aprendizagem, especificamente na relação entre a negociação (pedagógica com inspiração construtivista) e as interações argumentativas, que acontecem entre alunos humanos e agentes artificiais, suportada por conhecimento representado em redes bayesianas. A arquitetura do sistema define um processo de negociação baseada em argumentação, que utiliza estratégias pedagógicas criadas segundo o modelo construtivista, na busca de entendimento entre as partes. Um agente pedagógico seleciona a melhor tática a ser utilizada com o aluno durante o processo de negociação.

No domínio da negociação, o AMPLIA contribui em dois aspectos principais. Primeiramente, provê reflexões quanto ao uso de *redes probabilísticas* para modelagem dos agentes (subitem 2.2). Segundo, o AMPLIA apresenta um modelo de negociação baseado em argumentação aplicada à aprendizagem colaborativa (subitem 2.3). No domínio das discussões argumentativas apoiadas por redes bayesianas, o AMPLIA provê um *framework* para: (i) observação do comportamento do aluno em interações argumentativas, e (ii) observação das discussões sobre o uso de mecanismos de negociação em ambientes educacionais.

Quanto às discussões argumentativas, esta proposta apresenta uma abordagem aberta, prevendo que os desacordos entre as decisões tomadas pelos envolvidos no processo possam ser resolvidos através de ações pró-ativas, com o propósito de levá-los a rever suas crenças e, conseqüentemente, suas decisões. Essas ações pró-ativas são táticas pedagógicas. As táticas pedagógicas podem ser: apresentação de um texto ou qualquer outro recurso multimídia com o propósito reforçar a compreensão de um ponto em conflito (serviço de busca), sugestão quanto ao uso de comunicação síncrona ou assíncrona entre alunos ou aluno-professor (colaboração), e apresentação de casos práticos que levem à comprovação real de um problema específico. Embora não seja utilizado o processamento de língua natural como forma de comunicação, a compreensão entre as partes não é prejudicada, visto que o objeto a ser negociado constitui o conhecimento sobre o raciocínio diagnóstico de um determinado domínio e esse está modelado por redes bayesianas (seção 2.2), *modelagem compreendida por todos os agentes* (humanos e artificiais).

Os desacordos podem ser resolvidos por ações de convencimento, tanto pelo aluno quanto pelo sistema, através do uso de seus argumentos (o aluno, o seu modelo bayesiano e o sistema, os argumentos contidos em cada estratégia e tática pedagógica inseridas no sistema). Cada argumento tem o efeito de identificar uma área maior no espaço de negociação ainda não explorado pelo outro agente. Dessa forma, cada participante de um processo de negociação pode apresentar uma nova proposta que ajude a explicar por que o outro deveria aceitá-la. Esse tipo de argumento permite que seja possível mudar a região de aceitabilidade do outro participante, seja esse o aluno ou o sistema, e também provendo meios para mudar seu próprio espaço de negociação.

Nesse sentido, as contribuições deste projeto podem ser resumidas pelo modelo de um processo de negociação pedagógica baseada na argumentação e pela arquitetura de agentes probabilísticos em um ambiente de ensino-aprendizagem.

1.6 Organização

Esta proposta de tese está organizada da seguinte forma: o segundo capítulo apresenta uma visão geral das áreas de pesquisa relacionadas ao trabalho em questão; o terceiro capítulo apresenta o projeto AMPLIA propriamente dito; o quarto capítulo apresenta as idéias que norteiam a definição de negociação pedagógica; e o quinto capítulo apresenta considerações finais.

2 ÁREAS DE PESQUISA RELACIONADAS

O propósito deste Capítulo é apresentar uma visão das áreas de pesquisa que estão relacionadas com os temas centrais desta tese. Como o AMPLIA é um ambiente multiagente, inicialmente analisam-se aspectos de Sistemas Multiagente (SMA) envolvidos neste projeto. Os agentes artificiais que compõem o ambiente AMPLIA utilizam redes probabilísticas para a representação de suas crenças (redes bayesianas) e tomadas de decisão (diagramas de influência) e, por essa razão, a seção 2.2 é dedicada à descrição desse método de representação do conhecimento incerto e à apresentação das principais características de agentes probabilísticos. Na seção 2.3 são analisados os mecanismos clássicos de negociação encontrados na literatura, em especial a negociação baseada em argumentação. E, por último, na seção 2.4, são analisados alguns aspectos desejáveis em ambientes de ensino-aprendizagem colaborativa para a implantação de mecanismos de negociação.

2.1 Os Sistemas Multiagente

Os Sistemas Multiagente (SMA) são sistemas compostos por múltiplos agentes que exibem um comportamento autônomo, mas ao mesmo tempo interagem com os outros agentes presentes no sistema. Esses agentes exibem duas características fundamentais: serem capazes de agir de forma autônoma, tomando decisões que levem à satisfação dos seus objetivos; serem capazes de interagir com outros agentes utilizando protocolos de interação social inspirados nos humanos e incluindo pelo menos algumas das seguintes funcionalidades: coordenação, cooperação, competição e negociação.

Os SMA constituem um campo relativamente novo na computação. Embora o início da pesquisa nessa área tenha ocorrido nos anos 80, só em meados dos anos 90 ganhou uma notoriedade digna de destaque (WOOLDRIDGE, 2002). Ao longo dos últimos anos a pesquisa sobre SMA tem sofrido um acentuado crescimento. Tal crescimento levou ao aparecimento de publicações e conferências internacionais sobre o assunto.

Um SMA é um sistema computacional em que dois ou mais agentes interagem ou trabalham em conjunto de forma a desempenhar determinadas tarefas ou satisfazer um conjunto de objetivos. A investigação científica e a implementação prática de SMA estão focadas na construção de padrões, princípios e modelos que permitam a criação de pequenas e grandes sociedades de agentes semi-autônomos, capazes de interagir convenientemente de forma a atingirem os seus objetivos (LESSER 1999).

Um dos pontos essenciais para permitir a construção de sociedades de agentes consiste em conseguir gerir as interações e as dependências das atividades dos diferentes agentes no contexto do SMA, i.e., coordenar esses agentes. Dessa forma, a coordenação desempenha um papel essencial nos SMA, pois esses sistemas são inerentemente distribuídos. Aliás, o tema designado genericamente por coordenação constitui um dos maiores domínios científicos da ciência da computação.

Na literatura científica, a coordenação entre agentes é analisada de diferentes maneiras, mas todos concordam que o objetivo da coordenação é garantir que uma

comunidade de agentes individuais aja de maneira coerente. Coerência se refere ao quão bem uma sociedade de agentes se comporta como uma unidade. Coordenação pode, por exemplo, ser dividida em dois tipos: cooperação e competição. Cooperação é coordenação entre agentes não antagônicos, enquanto que a negociação é coordenação entre agentes competitivos ou agentes egoístas. Entretanto, existem diferentes pontos de vista ao redor das palavras cooperação, competição e negociação. Alguns autores entendem essas palavras como conceitos diferentes (HUHNS; STEPHENS, 1999) (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1998), ao passo que outros as combinam e falam, implícita ou explicitamente, sobre negociação cooperativa e negociação competitiva (JENNINGS et al., 2001) (KRAUS, 2001) (ZLOTKIN; ROSENCEIN, 1999) (ZHANG et al., 2000). Às vezes o mesmo autor em um momento considera os três conceitos separadamente e em outro momento como conceitos combinados.

Diversos métodos de coordenação foram propostos por diferentes autores, sendo esses aplicáveis desde os domínios contendo agentes competitivos, i.e., agentes preocupados com o seu bem próprio, até os domínios contendo agentes cooperativos, i.e., agentes que incluem uma noção de preocupação pelo bem do conjunto.

Os SMA incluem diversos agentes que interagem ou trabalham em conjunto, podendo compreender agentes homogêneos ou heterogêneos. Cada agente é basicamente um elemento capaz de resolução autônoma de problemas e opera assincronamente com respeito aos outros agentes. Para que um agente possa operar como parte do sistema, é necessária a existência de uma infra-estrutura que permita a comunicação e/ou interação entre os agentes que compõem o SMA (Figura 1.1).

O SMA possui múltiplos agentes, cada qual com diferentes capacidades de percepção e ação no mundo. Cada agente tem uma esfera de influência distinta sobre o ambiente, ou seja, é capaz de influenciar diferentes partes do ambiente (JENNINGS, 2000). Essas esferas de influência podem coincidir dependendo das relações existentes entre os agentes.

A pesquisa em SMA está focada no desenvolvimento de princípios e modelos computacionais para construir, descrever, implementar e analisar as formas de interação e coordenação de agentes em sociedades de reduzida ou elevada dimensão (LESSER, 1999). Lesser e Corkill (1987) afirmam que os objetivos da coordenação de agentes são:

- garantir que todas as partes necessárias do problema sejam resolvidas por pelo menos um agente ou que todas as partes da tarefa cooperativa sejam executadas;
- garantir que todos os agentes interajam de modo a permitir que as suas atividades sejam executadas como parte da execução da tarefa cooperativa e, dessa forma, integradas na solução global;
- garantir que os membros da sociedade ajam de maneira a atingir os objetivos globais e de forma globalmente consistente;

garantir que os três objetivos anteriores sejam alcançados dentro dos limites computacionais e dos recursos disponíveis.

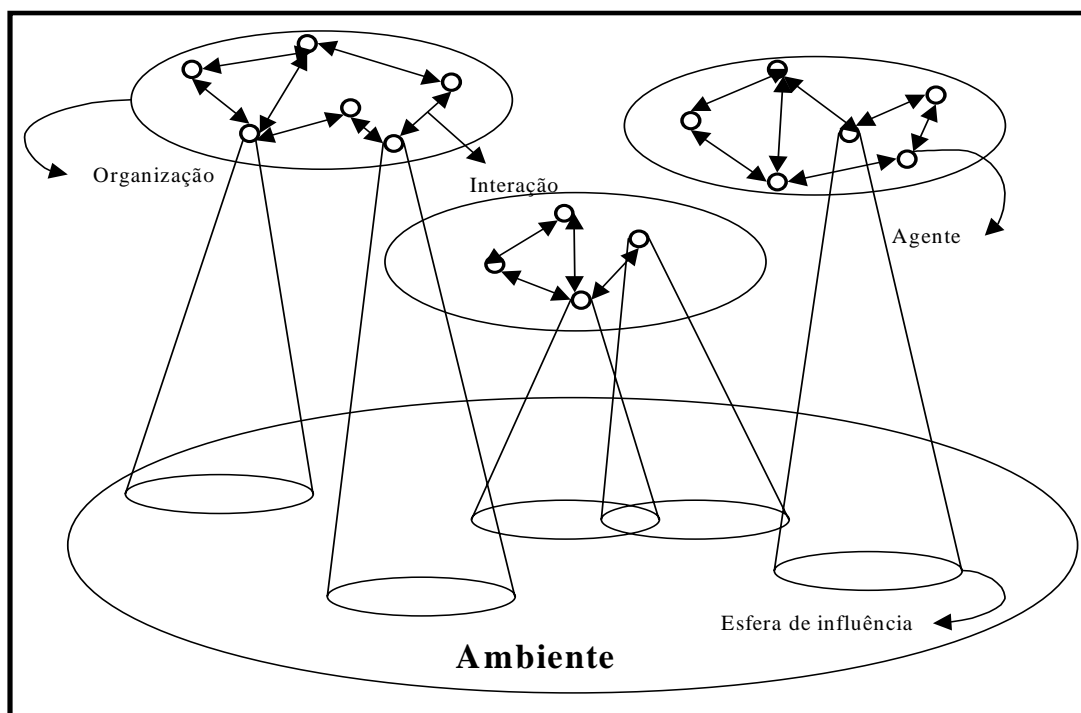


Figura 1.1: Estrutura de um Sistema Multiagente

Um modelo de coordenação providencia um esquema formal pelo qual as formas de interação entre os agentes podem ser expressas. Assim, este modelo lida com a criação e destruição de agentes, atividades de comunicação dos agentes, distribuição e mobilidade espacial dos agentes, sincronização, distribuição e monitoração das ações dos agentes ao longo do tempo (figura 1.2).

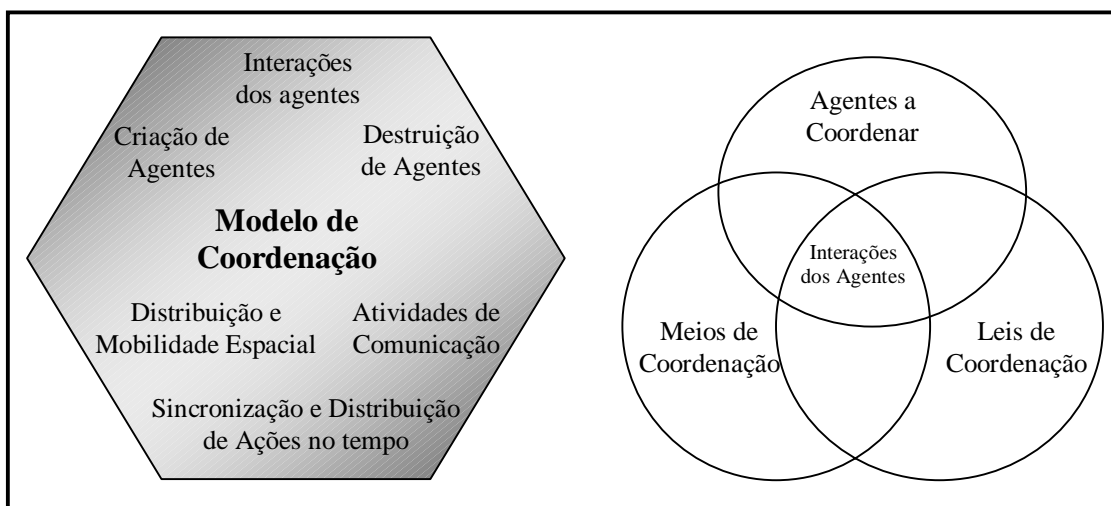


Figura 1.2: Modelo de Coordenação

Um modelo de coordenação pode ser visto como consistindo em três elementos (CIANCARINI, 1996):

- **Coordenáveis.** As entidades cujas interações mútuas serão regidas pelo modelo de coordenação, i.e., os agentes no SMA;

- **Meios de Coordenação.** As abstrações utilizadas que permitem as interações entre os agentes e o núcleo em torno do qual os agentes se encontram organizados. Isso inclui meios de interação físicos, canais de comunicação, etc;
- **Leis de Coordenação.** Definem o modo de utilização dos meios de coordenação nos eventos de interação. Estas leis podem ser definidas de diversas formas como, por exemplo, através de uma linguagem de comunicação (que define a sintaxe utilizada para troca de dados) e uma linguagem de coordenação (que define as primitivas de interação e a sua semântica).

2.1.1 A Relação entre o AMPLIA e os SMA

No âmbito de uma sociedade de agentes cooperativos, como é o caso do ambiente AMPLIA, a coordenação pode ser definida como o processo pelo qual os agentes raciocinam acerca das suas ações locais e antecipam o efeito das ações dos outros de modo a assegurar que a comunidade atue de maneira coerente (JENNINGS, 2000).

Assim sendo, o AMPLIA foi projetado como um Sistema Multiagente (SMA) formado por agentes³ autônomos e cooperativos com distintas habilidades e atribuições (agentes heterogêneos). Embora diversas metodologias mais adequadas à coordenação de agentes cooperativos tenham sido desenvolvidas por pesquisadores da área, a negociação cooperativa é o mecanismo aplicado na coordenação dos agentes cooperativos e heterogêneos do ambiente AMPLIA. Os motivos que levaram a essa escolha estão intrínsecos ao próprio título deste trabalho, que é definir uma negociação pedagógica aplicada a um ambiente multiagente de aprendizagem.

A negociação em IAD (BÔNUS & GASSER, 1988) (JEANINGS, 2000) é vista quase que universalmente como um processo através do qual conflitos podem ser resolvidos. Entretanto, não vemos a existência de 'conflito' – se abertamente declarado e reconhecido ou não – como essencial à definição de negociação. O que basicamente se exige é que a interação entre os agentes possua um objetivo mútuo para alcançar um acordo em relação a um objeto de negociação. Normalmente, diversas dimensões do objeto de negociação serão negociadas simultaneamente. O estado inicial para negociação é então a ausência de um acordo, podendo ou não incluir conflito.

Moraes e Costa (2003), ao definirem uma nova nomenclatura sistemática e extensível para as formas de coordenação de agentes existentes, identificaram, dentre outras, uma categoria que denominaram negociação cooperativa. Na negociação cooperativa os agentes possuem objetivos comuns. Os acordos alcançados são normalmente 100% benéficos a todos os agentes e a negociação exige possibilidades de interação simétrica. O mecanismo de negociação cooperativa assume que existe a presença de um escalonador que decide quais ações executar a fim de maximizar a função de utilidade multidimensional.

O AMPLIA foi projetado baseado nessas características. Assim, a interação que ocorre entre o agente pessoal, que representa o aluno nessa sociedade de agentes, e o agente diagnóstico, que representa o especialista, é vista como um processo de negociação cooperativa cuja ausência de um acordo é resolvida com o auxílio de um agente pedagógico, que tem por função estabelecer o foco da discussão à medida que a

³ As arquiteturas dos agentes autônomos, cooperativos e heterogêneos do AMPLIA estão descritas no Capítulo 4 deste trabalho.

tarefa de modelagem diagnóstica realizada pelo aluno vai avançando. O agente pedagógico, por sua vez, utiliza um diagrama de influências (Seção 2.2.1) como um escalonador que decide quais ações executar (táticas), ou seja, que estratégias pedagógicas selecionar, tendo por objetivo a maximização de uma função de utilidade multidimensional. Essa função de utilidade é multidimensional, pois considera parâmetros advindos de diversas fontes, ou seja, do agente diagnóstico, do aluno e do próprio agente que o representa. Os usuários (alunos, professores e especialistas) são representados por agentes autônomos que fazem parte de uma reunião social baseada em objetivos, que comunicam, cooperam e negociam entre si em um ambiente multiagente.

Resumindo, a negociação pedagógica que está sendo proposta é do tipo cooperativa, visto que é uma negociação que ocorre em um processo de ensino-aprendizagem, onde o objeto da negociação é o conhecimento (idéias/crenças) acerca de um domínio específico. No capítulo 3 são apresentados o conceito de negociação pedagógica e os princípios de projeto que norteiam a construção de ambientes de aprendizagem que apresentam mecanismos de negociação pedagógica. No capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada no projeto dos agentes do AMPLIA e sua conseqüente arquitetura.

2.2 Os Agentes Probabilísticos

Na década de 80, as redes probabilísticas estabeleceram-se como uma estrutura eficiente e de princípios matemáticos bem fundamentados para representação de conhecimento e raciocínio sob incerteza. Por outro lado, a tecnologia de agentes inteligentes está cada vez mais difundida no meio computacional. Nesta seção, discutimos a aplicação dessas duas áreas de pesquisa em diversos sistemas computacionais.

2.2.1 Rede Probabilística

A semântica probabilística, explícita codificação de relevância entre relacionamentos e os algoritmos de inferência das redes probabilísticas, são claramente eficientes na prática. Essas características levaram ao seu uso em inúmeras aplicações. Uma estrutura geral para representação de conhecimento, utilizando redes probabilísticas, pode ser denominada Agente Baseado em Redes Probabilísticas. O agente simples pode ser formado por simples variáveis aleatórias, como ocorre nas redes bayesianas. Entretanto, um agente probabilístico também pode ser mais complexo, apresentando variáveis de decisão e de utilidade em sua estrutura, formando redes denominadas por diagrama de influências.

Redes Bayesianas Russel e Norvig (1995) definiram uma rede bayesiana como sendo uma tripla (N, E, P) , onde $N = \{X_1, \dots, X_n\}$ é o conjunto de nodos (variáveis com os estados possíveis de cada X_i representado pelo conjunto mutuamente exclusivo $\{X_i\}$), E é o conjunto de arcos orientados tal que $D = \{N, E\}$ é um DAG e P é a distribuição de probabilidades $P(x_1, \dots, x_n) = \prod_i P(x_i | pa(X_i))$, onde $pa(X_i)$ são os nodos com arcos incidindo em X_i (pais de X_i). Os arcos representam uma dependência

direta entre as variáveis, mensurada por tabelas de distribuição de probabilidades condicionais $p(X_i | pa(X_i))$. Se $pa(X_i)$ não existir, a tabela de X_i se reduz à distribuição de probabilidades dos estados x_i de X_i .

Diagrama de Influências. Um diagrama de influências é um grafo orientado acíclico (DAG), onde $N = P \cup D \cup \psi$ é o conjunto dos nodos e E o conjunto dos arcos, sendo:

- P , os nodos de probabilidade, variáveis aleatórias (ovais). Cada nodo tem associado uma tabela de probabilidades condicionais (CPT) dada por $\mathcal{O}_A = P(A / Pa(A))$. Os nodos pais de A , $pa(A)$, podem ser outros nodos de probabilidade ou nodos de decisão. Se o nodo não possuir nodo pai, a CPT é substituída pelas probabilidades *a priori* da variável em questão e esta é considerada uma variável de evidência.
- D , nodos de decisão, pontos de escolha de ações (retângulos). Seus nodos pais podem ser outros nodos de decisão ou nodos de probabilidade.
- ψ , nodos de utilidade, funções de utilidade (losangos). Cada nodo possui uma tabela contendo a descrição da utilidade como funções das variáveis associadas aos seus pais. Seus pais podem ser nodos de decisão ou nodos de probabilidade.

Os arcos condicionais incidem em nodos probabilísticos ou de utilidade e representam dependência probabilística. Se duas variáveis são independentes, não existirá nenhum arco entre seus nodos. Um nodo de decisão é pai de um nodo de probabilidade se o seu valor influencia a distribuição da variável aleatória. Os arcos incidindo em nodos de decisão são arcos de informação, representando a precedência temporal e a disponibilidade da informação na hora de tomar a decisão. Um nodo de probabilidade é pai de um nodo de decisão se o valor da variável aleatória for conhecido na hora da decisão e puder influenciá-la. Um nodo de decisão é pai de outro nodo de decisão se a primeira decisão for realizada antes da segunda e a influenciar. Um nodo de utilidade representa o valor esperado da utilidade, dados os valores de seus pais. Seus nodos pais são todas as variáveis descrevendo as decisões e variáveis aleatórias que afetam diretamente o cálculo da utilidade.

Resumindo, o diagrama de influências é, assim como a rede bayesiana, um grafo orientado acíclico que possui nodos de probabilidade, nodos de decisão e nodos de utilidade que permitem a representação de funções de utilidade, muito importantes num processo de tomada de decisão (SHACHTER, 1986).

2.2.2 Modelos de agentes Inteligentes Probabilísticos

Quanto a agentes inteligentes, Maes (1994) discute os problemas básicos dos pesquisadores de Inteligência Artificial em relação aos agentes adaptativos. Os dois problemas básicos são os seguintes:

- **Seleção de ação:** que ação tomar numa dada variação de tempo para atingir os objetivos?
- **Aprendizagem a partir de experiências:** como melhorar o desempenho com o decorrer do tempo?

Para solucionar o problema da seleção de ação, o agente deve ser capaz de determinar a meta de modo que o agente possa determinar o próximo passo. Na área de agentes inteligentes, a meta pode ser denominada "intenção". Existem diversos trabalhos que usam a teoria da utilidade para a seleção de ação (MUDGAL; VASSILEVA, 2000) (VASSILEVA et al. 1999) (ZHANG et al., 2000). Para solucionar o problema da aprendizagem a partir da experiência, a rede bayesiana pode ser utilizada para atualizar o conhecimento e as crenças que cada agente possui sobre o ambiente e sobre os outros agentes (BANERJEE et al., 1999) (SYCARA, 1989) (KRAUS, 2001). Além de proporcionar eficientes técnicas de atualização, as redes bayesianas oferecem uma expressiva linguagem para modelagem que permite codificação fácil e flexível de conhecimento específico do domínio.

Um agente baseado em rede probabilística combina a clara semântica probabilística declarativa das redes com os diversos benefícios organizacionais da estrutura de agentes. Nesta seção, apresentamos de que maneira podem-se utilizar redes probabilísticas para a modelagem de um agente. A noção básica deste modelo de agente está em determinar como as crenças do agente afetam seus *desejos* e *intenções* futuras. Assim, uma rede probabilística pode ser transformada em agente da seguinte forma:

- O uso de redes bayesianas para encapsular parâmetros que representam as crenças do agente.
- O uso de diagramas de influência para representar as decisões do agente. O diagrama consiste em uma rede bayesiana que possui três diferentes tipos de variáveis aleatórias que podem ser denominadas: objetivo, ação e pré-condição. A pré-condição são os nodos de probabilidade que compõem uma rede bayesiana simples e representa as *crenças do agente*. Os objetivos constituem as intenções dos agentes, que são representados por nodos de decisão. Cada ação do agente está vinculada a uma função de utilidade usada para determinar a utilidade esperada no alcance de um objetivo. A função de utilidade é representada por nodos de utilidade. Sendo assim, as noções de custo e utilidade podem ser introduzidas no agente, permitindo o controle autônomo de minimizar seus custos e maximizar sua utilidade, i.e., maximizar seu “ganho” numa tomada de decisão (i.e., a diferença entre utilidade e custo). Uma medida global de utilidade, por exemplo, pode ser uma "moeda corrente fictícia qualquer" introduzida na sociedade de agente.
- O tempo é considerado em uma rede bayesiana. Cada variável causal X_i , X_i^t representa seu estado no tempo t . Dessa forma, um modelo de transição é representado a cada fatia de tempo. Sendo assim, a distribuição de probabilidade *a posteriori* de uma variável causal (pré-condição) é calculada (inferida) a partir do modelo de transição e da instanciação daquelas variáveis agora observadas. A instanciação dessas variáveis é realizada levando em conta influências extraídas do ambiente e informações enviadas por outros agentes.
- Cada agente é visto como uma função estocástica a partir de suas entradas para suas saídas. Em resumo, uma função estocástica é uma função onde, para cada valor de suas entradas, retorna uma distribuição de probabilidade que representa o valor de suas saídas. As tabelas de probabilidade condicional de uma rede bayesiana tradicional são uma espécie de função estocástica simples, utilizada para definir o relacionamento causal existente entre as variáveis aleatórias numa rede bayesiana, que representa as crenças de um agente simples. Porém, as funções estocásticas podem ser compostas e uma função mais complexa pode ser definida. Num agente

complexo, as funções estocásticas são definidas para cada uma de suas pré-condições.

Baseado nas considerações citadas acima pode-se transformar uma simples rede probabilística num Agente Baseado em Rede Probabilística (ABRP). Podemos constatar que a estrutura organizacional de um ABRP apóia uma estrutura natural para abstração e refinamento. Além do mais, tem o poder expressivo para negociar convenientemente com o ambiente em situações que ocorrem com o passar do tempo.

Como mencionado, a representação de conhecimento através de uma rede probabilística proporciona um meio intuitivo e matematicamente bem fundamentado para representar o conhecimento incerto (crença) e definir uma função de utilidade usada para determinar a utilidade esperada no alcance de um objetivo (intenção). Se utilizada na modelagem de agentes, pode determinar e definir quando e como mudar dinamicamente a representação do conhecimento subjacente.

Sendo assim, o conhecimento do agente sobre fatores causais (sua importância relativa e as intenções do usuário) é capturado na topologia da rede. Os benefícios da rede probabilística, vista como agente, podem ser identificados em dois aspectos importantes da modelagem de agentes que habitam uma sociedade: seleção de ação e aprendizagem.

Existem dois principais aspectos da seleção de ações em sistemas multiagentes: um referente à arquitetura do agente baseada em redes probabilísticas, e a outra a interação entre esses agentes. Quanto ao primeiro aspecto, a estrutura de uma rede probabilística pode ser utilizada para construir o próprio agente, isto é, nas variáveis probabilísticas são representadas as crenças do agente e nas variáveis de decisão e de utilidade é representado o mecanismo de decisão do agente, baseado na Teoria da Decisão. Quanto ao segundo aspecto, onde é enfatizada a interação entre os agentes, considera-se que não há controle global entre os agentes. Sendo assim, o conhecimento está distribuído entre os agentes, e o processo de seleção de ação de um agente é influenciado pelo agente em si e pelas decisões tomadas pelos outros agentes que compõem o sistema. Assim, as interações entre esses agentes podem estar centradas em torno da negociação (JENNINGS, 2000). Num ambiente aberto, um agente cognitivo deve estar ciente da natureza, disposições e prioridades de outros agentes. Tal conhecimento pode capacitar um agente a melhor planejar suas ações. Doravante, além de executar suas tarefas de solução de problemas, um agente precisa considerar o conhecimento e decisões de outros agentes, pois esses podem afetar suas decisões futuras.

Desse modo, a rede bayesiana pode, por exemplo, ser usada para descrever os diferentes fatores que interferem nas decisões do agente. Esta descrição inclui informação quantitativa (probabilidades) e qualitativa (relações de dependência) entre as variáveis aleatórias representadas. As novas evidências que são continuamente propagadas pela rede permitem a atualização dinâmica das crenças do agente. O diagrama de influências, por sua vez, ajuda na tomada de decisão, por exemplo, em um contexto de negociação, onde o agente busca maximizar as chances de que uma ação seja aceita por outro agente.

Um exemplo de sistemas de tomada de decisão que envolve agentes probabilísticos no contexto de interação entre os agentes é o modelo criado por Mudgal e Vassileva (2000). O modelo foi aplicado num sistema denominado I-Help, onde os usuários buscam ou oferecem ajuda a outros usuários através de seus agentes pessoais. O agente que solicita ajuda negocia por meio dos parâmetros *tempo* e *dinheiro*. Durante o

processo de negociação, podem ocorrer conflitos e, para solucioná-los, o sistema usa um modelo de negociação baseado na teoria da decisão, incorporando também aprendizagem bayesiana para permitir ao agente prever as ações dos oponentes durante a negociação. O mecanismo de negociação corresponde a uma seqüência iterativa entre agentes que solicitam e oferecem ajuda. A estratégia de negociação reflete a ação que um agente decide realizar numa determinada situação: *aceitar*, *rejeitar* ou *sugerir uma contra-proposta*. A unidade de tomada de decisão baseia-se na avaliação de um diagrama de influências (o agente toma decisões que maximizam sua utilidade). Os agentes guardam a história de todas as interações de negociação que tiveram com cada oponente. A negociação termina se o oponente aceita ou rejeita a oferta. Se o oponente faz uma contra-proposta, então a nova informação é armazenada, e o processo retorna à fase de negociação. A negociação termina após três contra-propostas.

2.2.3 Relação entre AMPLIA e Agente baseado em redes probabilísticas

No AMPLIA, no que tange ao processo de negociação pedagógica, optou-se pela utilização de redes bayesianas tanto como ferramenta que permite ao aluno expressar seu raciocínio diagnóstico por meio da construção de uma rede bayesiana, como também na possibilidade de embuti-la na arquitetura dos agentes que compõem o AMPLIA, tornando-os verdadeiros ABRP.

Como meio de expressão do raciocínio diagnóstico, pode-se dizer que as redes bayesianas têm sido amplamente utilizadas, em todo o mundo, para a modelagem de domínios incertos (JENSEN et al., 1990). A incerteza é representada por probabilidades e a inferência básica é o raciocínio probabilístico, isto é, a probabilidade de uma ou mais variáveis assumir valores específicos, dadas as evidências disponíveis. Outra razão importante para escolher a abordagem de redes bayesianas é que a mesma pode permitir a modelagem qualitativa e quantitativa do domínio. O enfoque qualitativo é representado pelo conjunto de variáveis e seu relacionamento causal. O especialista pode facilmente construir esse modelo qualitativo, usando um grafo acíclico direcionado. O enfoque quantitativo expressa a intensidade desse relacionamento causal e é representado pelas distribuições de probabilidades condicionais.

Revisões de estudos de casos publicados no domínio médico (ANDREASSEN et al., 1989) (MAYO; MITROVIC, 2001) (FRANKLIN et al., 1989) (HECKERMAN et al., 1992) (RUSSEL; NORVIG, 1995) (MÖBUS, 1995) apóiam a hipótese de que um médico, quando realiza um diagnóstico, implicitamente realiza raciocínio probabilístico. Existem evidências empíricas de que o raciocínio probabilístico, como realizado pelas redes bayesianas, é similar aos padrões do raciocínio humano (PEARL, 1993). Atualmente, uma forma de trabalhar com a incerteza é oferecer, ao médico, sistemas baseados em raciocínio probabilístico. Estes sistemas podem ser usados nos processos de ensino-aprendizagem, como está se propondo neste projeto, e também na prática diária nos consultórios.

O aluno, no AMPLIA, utiliza uma ferramenta gráfica para modelar seu raciocínio diagnóstico por meio de uma rede bayesiana onde ele tem a possibilidade de especificar, avaliar e revisar seu modelo qualitativa e quantitativamente.

Sob o enfoque de ABRP, os três tipos de agentes que formam o AMPLIA apresentam em sua arquitetura interna algumas de suas características:

- O agente que representa o aluno no AMPLIA está constantemente acompanhando e registrando todas as ações desse aluno durante a

construção de seu modelo bayesiano, que representa as crenças do aluno sobre um caso de estudo. Esse registro é analisado e seu resultado é propagado por uma rede bayesiana, que constitui o nível de decisão deste agente para a inferência da credibilidade do sistema sobre as ações do aluno. A cada ciclo de interação (submissão do modelo bayesiano do aluno), uma nova credibilidade é inferida.

- O agente que representa o conhecimento do domínio tem por função comparar o modelo bayesiano do aluno com o modelo do especialista por meio de algoritmos que analisam o significado semântico (importância diagnóstica) de cada variável inserida no modelo e o relacionamento causal existente entre as variáveis.
- O agente que seleciona a estratégia mais adequada à aprendizagem do aluno utiliza um diagrama de influências para representar as suas decisões. Baseado na Teoria da Decisão (FLORES et al., 2002), a cada interação do aluno com o sistema, o agente recebe os parâmetros inferidos pelos outros agentes e os propaga através dos nodos de probabilidades que compõem seu diagrama de influência. Esta propagação permite a seleção da ação, cuja função de utilidade maximiza os objetivos do agente. Seu objetivo, neste caso, consiste em fornecer o melhor apoio pedagógico ao aluno.

O Capítulo 4 descreve em detalhes a arquitetura e as funcionalidades de cada agente.

2.3 Negociação Automatizada

Esta seção explora o assunto negociação sob o enfoque da IAD, onde a negociação foi definida como o processo através do qual um grupo de agentes atinge um acordo mútuo sobre determinado assunto. A negociação apóia-se na tentativa de cooperação e coordenação (entre agentes humanos e artificiais), sendo necessário tanto quando se trata de agentes de interesse próprio, como de agentes cooperativos.

Segundo Matos (1985), três condições são necessárias para que entidades possam negociar com êxito:

- *Precisar negociar*, ou seja, o agente deve possuir consciência das necessidades de se negociar;
- *Querer negociar*, demonstrando vontade firme de encontrar soluções satisfatórias a todos os participantes de um processo de negociação, através da busca de acordos cooperativos, nos quais as partes envolvidas realizam esforços em um mesmo sentido;
- *Saber negociar*, ou seja, utilizando-se de *estratégias* eficazes e acionando *táticas* adequadas a cada situação em particular. Essas táticas relacionam-se, por exemplo, a *métodos de argumentação*, baseados em mecanismos da *lógica* e das *ciências comportamentais*, e desenvolvendo habilidades para a realização de *concessões* e *superação de impasses*.

Baseado nesses pressupostos definiu-se um método que apresenta abstrações do processo de negociação em etapas bem definidas. As etapas lógicas do processo de negociação pedagógica são:

- *Argumentação*: dinâmica do relacionamento afetivo-cognitivo (entendimento no plano do sentimento e da razão) para apresentação e esclarecimento da situação;
- *Promoção de objeções*: busca de equilíbrio através de concessões mútuas;
- *Acordo*: estado final de convergência de interesses;
- *Reforço*: corresponde às atividades necessárias para a garantia de continuidade do processo e integração de esforços; e
- *Re-abordagem*: configura a possibilidade permanente de retomada do processo.

O processo de negociação envolve, então, a identificação de interações potenciais, através da comunicação ou pelo raciocínio sobre o estado atual do ambiente e sobre as intenções dos agentes, buscando evitar interações prejudiciais ou criar situações cooperativas (SYCARA, 1989). Conforme Sycara, disparidades podem ser resolvidas fazendo um agente enxergar os estados de todos os outros e determinar onde estão essas disparidades e como resolvê-las. Essa abordagem cria um ponto único de falha, sendo recomendado então utilizar a negociação. Segundo a autora, as principais características de negociação necessárias para desenvolver aplicações para o mundo real, seriam:

- A presença de algum tipo de conflito que deva ser resolvido de maneira descentralizada;
- Agentes, com interesses próprios, sob as condições de: racionalidade limitada, informação incompleta, processo de convencimento do(s) agente(s) a mudar (em) suas crenças, maximização da função de utilidade, dadas novas crenças e comprometimentos.

Dada sua ubiqüidade e importância em diversos contextos, a negociação incorpora fenômenos e faz uso de diferentes abordagens (por exemplo, IA, ciências sociais e teoria dos jogos). Apesar dessa variedade, Lomuscio et al. (2000) classificou a pesquisa sobre negociação em três amplos tópicos:

- Protocolos de negociação: o conjunto de regras que governam a interação. Os protocolos descrevem os tipos de agentes participantes, o estado da negociação (por exemplo, negociação em curso, negociação concluída), os eventos que causam a mudança de estados da negociação (por exemplo, sem acordo, acordo aceito) e validação de ações dos participantes em um estado específico (por exemplo, que mensagens podem ser enviadas para quem? Em que momento?).
- Objetos de negociação: a definição dos pontos abordados num processo de negociação, para que um acordo seja atingido. Em um extremo, o objeto de negociação pode envolver um único ponto (tal como o preço), enquanto que em outro extremo, o objeto de negociação pode envolver centenas de pontos (relacionados ao preço, à qualidade, ao tempo, às punições, aos termos e condições, etc.). A estrutura resultante do entendimento entre as partes é definida pelos tipos de operações que podem ser realizadas sobre o objeto de negociação. Essas operações estão definidas no protocolo de negociação. Num caso simples, a estrutura e os conteúdos do entendimento são fixos, permitindo aos agentes aceitá-los ou rejeitá-los. Em um outro caso, os agentes possuem a flexibilidade de modificar os valores dos pontos do objeto da negociação (por exemplo, eles podem fazer uma contraproposta). Finalmente, os agentes podem dinamicamente alterar a estrutura do objeto de negociação (adicionando ou removendo pontos).

- Modelos de tomada de decisão dos agentes: o instrumento de tomada de decisão que os agentes empregam para agirem com o auxílio do protocolo de negociação para alcançar seus objetivos. A sofisticação do modelo, bem como as decisões que precisam ser tomadas, são influenciadas pelo protocolo, pela natureza do objeto de negociação, e pelas operações que podem ser desempenhadas pelos agentes. São exemplos de modelos de negociação para ambientes que tratam com incerteza ou informação incompleta, os protocolos de votação, mecanismos de incentivo à compatibilidade (onde um dos modelos é em rede probabilística), mecanismos de preço de mercado, mecanismos de oferta.

Jennings et al (2000) (2001) trabalharam em três tipos diferentes de modelos de coordenação para a negociação: os baseados na teoria dos jogos, os baseados em modelos heurísticos (FARATIN et al, 1998) e os baseados na argumentação (PARSONS; JENNINGS, 1998).

2.3.1 Negociação baseada na Teoria dos Jogos

A teoria dos jogos é uma abordagem interdisciplinar para o estudo do comportamento humano e fornece meios para analisar conflitos de interesse entre pessoas ou instituições em diversas áreas, tais como economia, sociologia e ciência política. Um jogo é um modelo teórico de conflitos de interesse, e nele estão definidas as decisões possíveis para cada jogador e os resultados possíveis. Um indivíduo participante de um jogo deve escolher uma entre várias alternativas, de acordo com sua preferência.

Entretanto, como a escolha também depende de outros jogadores que, em geral, possuem outras preferências (caracterizando conflito de interesse), é preciso considerar todas as preferências para obter o melhor resultado possível. A *solução* do jogo é a melhor forma de jogar para cada indivíduo envolvido.

Na área de SMA, a teoria dos jogos é utilizada na coordenação de agentes em situações de conflitos de interesses. Agentes que procuram atingir seus objetivos individuais precisam interagir entre si, em geral sem comunicação, mas com conhecimento dos objetivos e ganhos dos demais. Com a finalidade de obter o melhor resultado individual, se não forem cooperativos, ou o melhor resultado para o grupo de agentes, caso sejam cooperativos, os agentes usam *racionalidade* para maximizar seu ganho frente às estratégias dos demais.

Apesar de possuir muitas vantagens óbvias, entretanto, existe um número de problemas associados com o uso de teoria dos jogos quando aplicado à negociação automatizada:

- A teoria dos jogos assume que é possível caracterizar as preferências de um agente em relação aos resultados possíveis. Os humanos, entretanto, acham extremamente difícil definir consistentemente suas preferências sobre resultados. Em geral, as preferências humanas não podem ser caracterizadas, mesmo que por uma simples disposição sobre resultados, para não citar as utilidades numéricas (FISCHER; GHIDINI, 2002).
- Os modelos de teoria dos jogos assumem, freqüentemente, perfeita racionalidade computacional, significando que nenhuma computação é necessária para a busca de resultados mutuamente aceitáveis dentro de um conjunto de resultados possível. Além disso, esse espaço de resultados possíveis é assumido ser completamente

conhecido pelos agentes, como são os valores dos resultados potenciais. Essa suposição raramente é verdadeira em casos do mundo real. Os agentes normalmente conhecem seu próprio espaço de informação, mas não conhecem o de seu oponente. Entretanto, até se o espaço conjunto é conhecido, sabendo que a solução existe, é difícil saber qual é a solução atual. O xadrez é um exemplo clássico deste problema: o jogo tem uma solução – uma estratégia para as peças brancas e pretas, que é vencer ou empatar, mas a busca é computacionalmente complexa. Então, a noção de uma racionalidade perfeita, embora interessante nas propriedades de projeto, predição e provas de um sistema, não é, no geral, usada na prática. Primeiramente, não se pode realizar essa busca, pois mecanismos físicos levam tempo para processar informação e selecionar ações. Portanto, o comportamento de agentes reais não consegue refletir mudanças imediatas no ambiente e será geralmente menos eficiente. Segundo, não provê meios para analisar o plano/objetivo interno de um agente; um agente racional é tão bom quanto os outros.

Embora apresentando esses problemas, a teoria dos jogos é uma ferramenta poderosa para a negociação automatizada nos casos onde é possível caracterizar as preferências e as estratégias possíveis dos participantes da negociação. Em um ambiente de ensino-aprendizagem, cuja negociação apresenta um cunho pedagógico, é impossível caracterizar as preferências e as estratégias possíveis dos participantes desta negociação (professor e aluno).

2.3.2 Negociação baseada em modelos heurísticos

O melhor meio de superar as limitações mencionadas nos modelos da teoria dos jogos é usar métodos heurísticos. Tais métodos admitem que existe um custo associado com computação e tomada de decisão e, então, buscam encontrar o espaço da negociação de uma forma não exaustiva. Esses métodos se propõem a produzir soluções boas, em vez de soluções ótimas. Os métodos, em si mesmos, podem ser aproximações das técnicas de teoria dos jogos ou podem ser realizações computacionais de modelos de negociação mais informais. Exemplos de tais modelos incluem (KRAUS; LEHMANN, 1995) (FARATIN, 1998) (SATHI, 1989 apud MUDGAL; VASSILEVA, 2000) (SYCARA, 1989). As vantagens da abordagem heurística podem ser resumidas em:

- Os modelos são baseados em suposições realistas; portanto, eles provêm uma base mais adequada à automação e podem, então, ser usados em diversos domínios de aplicação;
- Os projetistas dos agentes, mesmo não conhecendo a teoria dos jogos, podem usar modelos de racionalidade para desenvolver diferentes arquiteturas de agente.

O interesse central dessa linha é modelar as tomadas de decisão dos agentes, heurísticamente, durante o curso da negociação, ou seja, a escolha de um protocolo não descreve um percurso ótimo de ação. Para aprofundar-se nesta área, precisa concentrar-se sobre os modelos heurísticos já desenvolvidos. Esses modelos são um conjunto de *mecanismos de deliberação* que trabalham dentro de protocolos de negociação bastante livres (SIERRA et al., 1997).

O protocolo de negociação não descreve o comportamento do agente, mas inibe a seleção das ações do agente na solução de problemas através do uso de *regras normativas de interação*. Essas regras são ordenadas conforme os papéis do agente,

definindo as expressões de comunicação, especificando quem pode dizer o que, como e quando. Especialmente, o protocolo é um modelo sequencial repetido, onde mensagens são trocadas interativamente.

Embora os métodos heurísticos tentem realmente evitar algumas das deficiências dos modelos baseados em teoria dos jogos, comparativamente apresentam algumas desvantagens (JENNINGS, 2000):

- Os modelos freqüentemente selecionam resultados que são menos eficientes, isto é, adotam uma noção aproximada da racionalidade, pois não examinam a fundo o espaço de resultados possíveis.
- Os modelos necessitam de uma avaliação abrangente, geralmente através de simulações e análise empírica, visto que é impossível prever precisamente como o sistema e os agentes que o constituem irão se comportar frente a determinadas circunstâncias.

2.3.3 Negociação baseada na Argumentação

Todas as técnicas discutidas até agora estão centradas na negociação de contratos. Entretanto, conforme apresentado nas seções anteriores, essas técnicas apresentam três principais limitações:

- Os contratos em geral abordam pontos únicos no espaço de entendimento, ou seja, quando os agentes recebem propostas, assumem todas as informações ali implícitas;
- O único *feedback* que eles podem fazer é apresentar uma contraproposta, que representa outro ponto no espaço de entendimentos, uma aceitação ou uma recusa e;
- É difícil mudar o conjunto de assuntos (temas) durante um processo de negociação (o que corresponde a mudar o espaço de negociação através da adição de novas dimensões).

O objetivo da negociação baseada em argumentos é remover essas limitações que são indesejáveis em negociações pedagógicas, onde a intenção é acompanhar o processo de aprendizagem de um aluno. A idéia básica da negociação baseada na argumentação é permitir que informações adicionais sejam trocadas entre os agentes. Essas informações podem ter diferentes formas, porém, todas elas têm por objetivo explicar explicitamente a opinião do agente que gerou tal argumento. Assim, na aceitação ou rejeição de uma proposta, um agente pode oferecer uma crítica, explicando as razões de seu posicionamento. O argumento tem o efeito de identificar uma área maior no espaço da negociação ainda não explorado pelo outro agente.

Resumindo, esse tipo de negociação, além de preocupar-se com o aspecto decisório inerente a todo e qualquer processo de resolução de conflitos entre agentes, empenha-se também em selecionar recursos para representação e apresentação de argumentos que permeiam discussões argumentativas.

A tarefa de representação de um argumento, vinculado a alguma proposição, tem, já há algum tempo, atraído as atenções da comunidade da IA. As representações são projetadas para facilitar a compreensão e o desenvolvimento de leis, contratos legais, debates e construir modelos rigorosos para raciocínio em ambientes com incerteza. A apresentação de argumentos tem, por exemplo, uma grande importância na provisão de explicações e justificativas em sistemas especialistas, na geração de materiais educativos na área da saúde, na crítica a decisões tomadas por usuários e nos sistemas

de aprendizagem assistida por computador. A relação entre representação e apresentação dos argumentos também está sendo explorada produtivamente em SMA, onde os agentes interagem entre si, num processo de negociação e/ou colaboração (LOMUSCIO et al., 2000) (SIERRA et al., 1997).

Ainda, muitos desses trabalhos sofrem com a adoção de uma abordagem ingênua para os propósitos da argumentação, assumindo que logicamente o argumento é equivalente a um recurso que persuadirá qualquer audiência. Entretanto, ainda que um argumento lógico possa ser persuasivo para qualquer julgamento racional, trata-se também de uma situação de ação comunicativa, e aspectos dessa situação influenciam o sucesso de um argumento tanto quanto o conteúdo lógico nele inserido. Em algumas situações, projetar um argumento somente na base de seu conteúdo proposicional desejado, torna-se inapropriado. O projeto do conteúdo, da estrutura e da apresentação de um argumento deve ser sensível às *crenças* e *atitudes* do agente e, também, ao contexto social onde o argumento está presente.

A próxima seção aborda os conceitos e a fundamentação formal sobre as discussões argumentativas. Inicia-se com a apresentação da noção geral de argumentação, a partir de diferentes domínios, tais como, disputa de resoluções e aprendizagem colaborativa.

2.3.4 Uma noção geral sobre argumentação

Existem muitas definições sobre argumentação, desde a pragmática e a análise do discurso, até a educação e a lógica dialética. Apesar da abordagem e do formalismo propostos em cada campo, adota-se a noção comum de *argumentação racional como um processo de fazer enunciados de forma a apoiar ou refutar uma opinião* (EEMEREN; GROOTENDORST, 1984). Essa definição geral, entretanto, é mais explícita quando aplicada a diferentes perspectivas, a partir de vários domínios de aplicações onde a argumentação é explorada. As seções seguintes apresentam definições e conceitos adotados por diferentes campos de aplicação.

2.3.5 Argumentação aplicada para disputar resoluções

A partir do ponto de vista pragmático, isto é, com respeito aos propósitos da argumentação, Frans Eemeren e Rob Grootendorst (1984) definem argumentação como *uma tentativa de convencer um agente racional, sobre um ponto de vista, a respeito da aceitação de uma opinião*. Essa definição é importante na argumentação. Primeiramente, a tentativa de se convencer um agente racional significa que a argumentação é uma ação destinada a promover algum tipo de mudança nas crenças do agente racional. Além disso, a aceitação de uma opinião sugere que exista uma proposição (ou um conjunto de proposições) para ser aceita ou refutada por meio do raciocínio. Essa definição geral esclarece a natureza de *buscar uma finalidade – ter um propósito* para a argumentação, isto é, o seu aspecto *perlocutório*, mas ainda deixa dúvidas sobre como a tentativa de convencimento é realizada.

Uma segunda definição, também proposta por Eemeren, é mais específica a respeito do aspecto *elocutório* da argumentação. De acordo com essa definição, que está baseada na teoria de atos da fala, a argumentação é um ato *elocutório* complexo, composto de elocuições elementares, isto é, assertivas que em conjunto justificam ou refutam uma opinião. Tal definição classifica a argumentação como um tipo de ato de fala - *os atos*

de fala elocutórios – e ao mesmo tempo expressa a relação de apoio ou refutação da argumentação em relação a uma certa opinião.

A classificação da argumentação como um ato *elocutório* remete-se a outras teorias, tais como os atos de fala de Searle (1970). De acordo com Searle, um ato elocutório é uma assertiva para um propósito (*purposive assertive*) composta de um conteúdo proposicional e um conteúdo essencial. No caso da argumentação, o conteúdo proposicional corresponde ao conjunto de afirmações feitas pelo debatedor e o conteúdo essencial corresponde à intenção de justificar uma opinião (pró-argumentação) ou refutá-la (contra-argumentação).

Somando-se aos conceitos já conhecidos sobre argumentos, Eemeren também explora o estágio temporal da argumentação. Ele identifica quatro estágios de um discurso argumentativo: estágio de confronto, estágio de abertura, estágio de argumentação e estágio de conclusão (EEMEREN; GROOTENDORST, 1984). Em cada estágio ocorre uma interação entre os agentes. No estágio do confronto, uma opinião é expressa pelo agente e o conflito é identificado. No estágio de abertura, o agente assume os papéis de protagonista e antagonista. Durante o estágio de argumentação, ambos agentes trocam argumentos de apoio e de recusa a respeito de outras posições. Finalmente, no estágio de conclusão, a disputa é resolvida e os debatedores coletivamente estabelecem seus resultados.

Nos próximos itens, são fornecidas visões sobre o uso de discussões argumentativas no domínio da aprendizagem colaborativa.

2.3.6 Argumentação aplicada à aprendizagem colaborativa

O objetivo desta seção é estudar possíveis relações entre argumentação e aprendizagem, a partir do ponto de vista de pesquisadores das *ciências cognitivas*. Buscam-se novas definições de argumentação, com foco na perspectiva educacional e investigam-se resultados empíricos a partir de atividades argumentativas realizadas por alunos.

Um meio real de *construção do conhecimento* é o ato de raciocinar, e o resultado desse raciocínio é um argumento, uma estrutura consistindo de uma conclusão e de um conjunto de razões que a apóiam (SCHWARZ et al., 2001).

O trabalho de Matthieu Quignard (2002) estende a noção clássica de argumentação como sendo uma tentativa de persuadir ouvintes a aceitar o ponto de vista de quem está falando, por considerá-lo como essencialmente preocupado com os *efeitos cognitivos*. Segundo Quignard, as teorias clássicas sobre a argumentação não são boas para modelar aspectos cognitivos, devido ao fato de que estão principalmente preocupadas com os resultados do debate e não contemplam aspectos cognitivos, tais como *crenças e estados mentais*.

O trabalho empírico de Michael Baker (1998) explora as funções de argumentação em solução de problemas colaborativos. De acordo com esse trabalho, a argumentação possui três principais funções: ela trabalha como uma ativadora para a busca de informação, como um filtro de propostas defeituosas e como uma fornecedora de pressão interativa para co-elaborar idéias. Baker continuou investigando o papel da argumentação em aprendizagem (BAKER, 1999) e concluiu que interações argumentativas podem levar à **reconstrução em vez de explicitação do conhecimento**. Ainda de acordo com o trabalho de Baker, as atividades argumentativas estão

relacionadas à cognição por promover três tipos de operações discursivas: **negociação de idéias**, dissociação conceitual e associação conceitual. As operações discursivas referidas por Baker são uma transformação de pensamentos, entendimentos e conceitos que são efetuados dentro e através do discurso. **Negociação de idéias envolve ajuste das mesmas, para fazer alcançar entendimento mútuo**; dissociação conceitual envolve distinguir conceitos uns dos outros e associação conceitual envolve incluir conceitos sob uma unidade mais geral.

Outra abordagem empírica da argumentação é o trabalho de Arja Veerman (2000). Em seu trabalho, ela relata um estudo sobre aprendizagem colaborativa, através da argumentação, usando sistema de comunicação assíncrona e síncrona, mediada por computador (CMC). De acordo com Veerman, a aprendizagem colaborativa permite aos **alunos negociar diferentes perspectivas através da externalização e negociação entre eles**. Através da argumentação, podem **construir e reconstruir o conhecimento em relação aos objetivos da aprendizagem**. O interesse empírico de Veerman está na relação entre argumentação e a produção de *atividades construtivistas*. Para esse propósito, Veerman classifica a argumentação em duas categorias: a forma ‘direta’ de argumentação (desafio, contra-argumentação) e as formas indiretas de argumentação (verificação de informação). Seu trabalho demonstra que alunos produziram um alto grau de atividades construtivas através de formas indiretas de argumentação, ao invés de formas diretas. De acordo com Veerman, isso é explicado pelo fato de que os alunos necessitam de conhecimento conceitual bem estabelecido antes de se engajar em debates críticos. Esses resultados podem ser usados para o reprojeto de sistemas argumentativos e para promover, intencionalmente, formas mais diretas de argumentação (BAKER, 1999) (VEERMAN, 2000) (QUIGNARD, 2002) (SCHWARZ et al., 2001).

2.3.7 Relação entre AMPLIA e Negociação

No AMPLIA, o foco da negociação está relacionado ao processo pedagógico de ensino-aprendizagem, cujo modelo de coordenação escolhido foi o de negociação baseada em argumentação aplicada à aprendizagem colaborativa. O processo de negociação que ocorre no ambiente AMPLIA é diferente, em diversos aspectos, dos sistemas de negociação que utilizam a Teoria dos Jogos e as Teorias de Mercado, pois se trata de uma negociação pedagógica. Ela está direcionada ao contexto do domínio de ensino-aprendizagem, utilizando o conceito de argumentação que contempla aspectos cognitivos, tais como crenças, ações e nível de confiança mútua entre aluno e professor.

A negociação está baseada no uso de estratégias pedagógicas pelo sistema que possibilitam o uso intensivo de argumentação para apresentação e esclarecimento de situações, buscando o equilíbrio nas expectativas entre o aluno e o sistema, através de concessões mútuas.

Através do uso de um editor gráfico de redes bayesianas, o aluno *constrói seu conhecimento* sobre um determinado caso de estudo. Essa atividade constitui o seu raciocínio, e o resultado desse raciocínio é o argumento por ele utilizado nas interações argumentativas com o sistema. Ou seja, o processo de negociação ocorre em ciclos (*rounds*) de decisão, cujo ciclo é iniciado com a submissão do modelo bayesiano do aluno, que representa sua conclusão e o conjunto de razões que a apóiam, para avaliação.

Bertil Rolf (2002) afirma que a prática e o ensino do raciocínio e da argumentação prestam-se ao uso de esquemas. Neste trabalho, concorda-se com essa idéia e, por essa razão, a forma de expressão do aluno ocorre por meio de um editor gráfico onde os argumentos são formados por nodos e ligações entre eles. Rolf ainda classifica em três níveis os softwares que permitem expressar argumentos por meio de grafos. Essa classificação leva em consideração o método de inferência empregado. O sistema *Belvedere*, por exemplo, não possui inferência alguma, constituindo o primeiro nível; os sistemas *Athenas* e *Reason!Able* encontram-se num nível intermediário, contendo alguma designação numérica e regras para filtragem dos melhores argumentos. O AMPLIA encontra-se no terceiro nível, onde o sistema contém avançada teoria matemática baseada em inferência bayesiana. Os sistemas mencionados acima, exceto o AMPLIA, não apresentam um tutor ou mediador como auxiliar na tarefa de aprendizagem.

Resumindo, os atores da negociação no AMPLIA são o aluno (representado por um agente de software) e o especialista (também representado por um agente de software). Contudo, essa negociação é mediada por um outro agente responsável por conduzir os outros dois a um entendimento comum. Os recursos para argumentação utilizados pelo ambiente são a seleção da estratégia mais adequada associada aos recursos didáticos (*links*, explicações, etc.) disponibilizados pelo especialista, enquanto que a argumentação do aluno é feita pela alteração ou não de seu modelo bayesiano e a declaração de sua confiança.

A descrição detalhada do método para geração dos argumentos está apresentada na Seção 4.3.2. O modelo de negociação baseada em argumentação implementado está descrito no Capítulo 5. No Anexo B, estão listadas as estratégias e táticas, bem como sua relação com os parâmetros de negociação.

2.4 Negociação em Ambientes de Aprendizagem Colaborativa

A implantação de mecanismos de negociação em ambientes de aprendizagem requer possibilidades de interação simétrica entre os parceiros.

O relacionamento entre o usuário e um sistema computacional é geralmente assimétrico, ou seja, o usuário e o sistema não executam as mesmas ações, eles não possuem o mesmo papel em uma tomada de decisão. Por exemplo, na metáfora de assistente, o equilíbrio de controle está ao lado do usuário, enquanto que sistemas especialistas apresentam a capacidade de argumentação independente do usuário, considerando apenas o seu conhecimento e inferência para solicitar dados ou gerar explicações. Alguns sistemas baseados em conhecimento, funcionando num modo de crítica (FISCHER et al., 1991), são mais simétricos. Aliás, quando se fala em ambientes de aprendizagem colaborativa, a palavra colaboração supõe que o equilíbrio de controle será mais equilibrado ou simétrico. Tal simetria não supõe nem a igualdade entre ser humano e agentes artificiais, i.e., que o usuário e o sistema realmente executarão as mesmas subtarefas, nem naturalmente que eles têm competências iguais. Aliás, um interesse importante em projeto é armar uma distribuição conveniente de papéis que otimizem as habilidades específicas de cada agente (WOODS; ROTH, 1988 apud DILLENBOURG; BAKER, 1996). Por exemplo, agentes computacionais processam sistematicamente grandes quantidades de dados no plano sintático, enquanto que agentes humanos intervêm em subtarefas que exijam bom senso no plano semântico. Os parceiros assim podem ser vistos como complementares. Dalal & Kasper (1994) usam o

termo união cognitiva para se referir ao relacionamento entre as características cognitivas dos usuários e as características cognitivas correspondentes do sistema.

Embora tal complementaridade seja uma escolha racional, Dillenbourg e Baker (1996) não acreditam que seja útil impor uma distribuição única e fixa de papéis em ambientes de aprendizagem e, por essa razão, investiga a simetria entre homem e máquina. Essa simetria busca dar o mesmo alcance de ações possíveis ao usuário e ao sistema (em termos de tarefa e de comunicação) e direitos simétricos para negociar decisões. Entretanto, para uma dada interação de tarefas, o comportamento na negociação entre os agentes e seu poder vão, naturalmente, ser em grande parte determinados pelas diferenças em seu conhecimento a respeito da área de domínio em discussão. Em outras palavras, a possibilidade de assimetria variável de interação está diretamente ligada à simetria no âmbito de projeto do sistema.

Num modo assimétrico, um agente tem sempre a última palavra, não há nenhum espaço para negociação real. No modo simétrico, não há nenhum vencedor pré-definido, os conflitos precisam ser resolvidos por negociação. Precisamente, os processos cognitivos que desencadearam fazer uma declaração explícita, justificar um argumento ou refutar o ponto de vista do parceiro provavelmente explicam as razões pelas quais a aprendizagem colaborativa é mais eficiente do que a aprendizagem solitária. Esse aspecto da aprendizagem foi tratado em (ROGOFF, 1990). Rogoff apresenta uma situação em que um parceiro domina o outro, ao ponto desse não precisar justificar suas decisões. Sendo assim, os benefícios da aprendizagem colaborativa são muito pequenos.

As principais funções dos ambientes de aprendizagem interativa (explicação, educação, diagnóstico) são tradicionalmente implementadas como mecanismos de mão única, ou seja, com o sistema retendo controle completo. Entretanto, há trabalhos que tendem a tratá-los como processos bilaterais (DILLENBOURG et al., 1995): uma explicação simplesmente não é construída por um agente e entregue ao outro, mas é construída em conjunto (BAKER, 1992 apud DILLENBOURG et al., 1995) ou negociada (BAKER et al., 1994). A qualidade de um diagnóstico depende em grande parte da colaboração entre o tutor e o assunto a ser diagnosticado. Mesmo em educação, o aluno desempenha um papel ativo que ajuda o professor a focalizar suas intervenções (DOUGLAS, 1991) (FOX, 1991).

Em pesquisa empírica sobre aprendizagem colaborativa homem-homem, foi observado que, mesmo quando a divisão de trabalho ocorre espontaneamente, essa não é fixa e os limites mudam com o tempo (MIYAKE, 1986) (DILLENBOURG et al., 1995).

A transferência progressiva de subtarefas do agente artificial para o agente humano é o mecanismo chave na abordagem da aprendizagem que inspira o projeto de muitos ambientes de aprendizagem interativa (COLLINS et al., 1989).

2.4.1 Espaços de Negociação

Claro que, para uma negociação acontecer, deve haver algum grau de latitude (ADLER et al., 1990) disponível entre os agentes – do contrário, não há nada que seja negociável. Isso define o espaço global de negociação dentro do qual os dois agentes tentam construir um entendimento compartilhado do problema e sua solução. O espaço de negociação naturalmente não ocorre em um único plano. Dillenbourg et al. (1995) observaram que os parceiros humanos não negociam uma única representação compartilhada do problema, mas realmente desenvolvem várias representações

compartilhadas, i.e., movem-se através de um mosaico de espaços diferentes de negociação. Esses espaços diferem pela natureza da informação que terá de ser negociada e pelos mecanismos de negociação. Entretanto, em colaboração homem-máquina, mais precisamente em ambientes de aprendizagem colaborativa, freqüentemente projeta-se um único espaço de negociação.

A expressão aprendizagem colaborativa é muito geral e, portanto, Baker (1994) tenta descrever espaços de negociação de uma forma mais precisa, descrevendo dimensões consideradas relevantes. As duas principais dimensões que se referem ao que pode ser negociado num dado espaço (objeto) e como é negociado (modo). As outras dimensões descrevem parâmetros mais específicos dessas primeiras duas dimensões gerais.

Dimensão 1 : Modo de negociação

O primeiro eixo é o modo de negociação. Dois agentes podem negociar por enviar mensagens um ao outro (referindo-se ao modo de discussão) ou por executar ações (ao modo de ação), por exemplo, se um agente não aceita a última ação de seu parceiro, então expressa descontentamento. Na prática, esses dois modos normalmente correspondem a duas interfaces, respectivamente a interface de agente-agente e a interface de tarefa-agente. Cumming & Self (1989) introduziram uma classificação semelhante em STI para enfatizar que a aprendizagem resulta não somente para atividades de solução de problemas (como em aprendizagem através do fazer), i.e., em termos de tarefa, mas também da reflexão sobre essas atividades, em termos de discussão.

A negociação aqui ocorre em ambos os modos: dois agentes podem, por exemplo, discordar por proferir declarações a propostas que mutuamente são reconhecidas como contraditórias, mas também por ativar comandos opostos. Esses dois modos correspondem a estilos de interação – manipulação direta versus interfaces conversacionais. Terveen (1993) introduziu a noção de manipulação colaborativa em que o usuário e o sistema colaboram numa área de trabalho compartilhada, envolvendo a representação e a manipulação de objetos.

No modo de ação, o espaço de negociação é o subconjunto de comandos de interface disponível a ambos agentes. Logo, não pode haver negociação em modo de ação em interfaces cujos comandos não estejam disponíveis a ambos agentes. Em alguns sistemas, onde um agente é humano e o outro é computacional, os comandos podem ser diferentes, mas suas funcionalidades equivalentes. Nesse caso, o espaço de negociação é definido por traçar funções entre os comandos respectivamente disponíveis ao usuário e ao sistema.

Dimensão 2 : Objeto de negociação

O segundo eixo é o objeto de negociação, i.e., o que está sendo negociado. Como exemplo, dois agentes podem negociar o que fazer (ação), negociar o conhecimento subjacente às suas decisões (conhecimento), negociar a representação desse conhecimento (representações), negociar seu modo de interação, por exemplo, 'era uma pergunta ou uma solicitação?' (interação). O que pode ser considerado um objeto de negociação em um sistema específico, depende de alguns fatores, principalmente: a natureza do domínio e os graus de conhecimento dos respectivos agentes em relação ao domínio. Assim, para domínios onde exista um único método correto de solução, e somente um dos agentes o conhece, isso não pode (sinceramente) ser um objeto de negociação. Entretanto, sob ponto de vista conceitual, onde o domínio é aproximado, esse ainda pode ser negociável. Em domínios mais abertos, onde há vários métodos

possíveis de solução, ou onde o raciocínio plausível ou incerto é exigido, o espaço de negociação neste nível pode ser mais largo e mais simétrico.

Dimensão 3 : Nível de simetria

Embora o interesse esteja principalmente em sistemas colaborativos altamente simétricos, o grau de simetria pode ser uma variável contínua: projetistas têm de decidir se fornecem aos agentes humanos e artificiais ações de interface e possibilidades de interação equivalentes (i.e., em modo de ação e em modo de discussão - dimensão 1). A escolha ao longo desse eixo contínuo também pode variar ao longo da dimensão 2 (o que é negociável). Também depende dos direitos e obrigações inerentes ao estado social-institucional dos agentes, mesmo quando transferido ao caso de homem-máquina. Por exemplo, numa interação tradicional de professor-aluno, o professor convencionalmente pode ter o direito de fazer uma Avaliação Negativa, com relação a uma atividade prévia do aluno, ao passo que o aluno não pode ter esse direito. Na prática, entretanto, o grau de simetria também é influenciado por restrições técnicas. Por exemplo, embora em certos casos tanto o professor como o aluno devem ter o direito social de dar uma Explicação, freqüentemente esse direito é excluído do aluno simplesmente porque falta competência suficiente ao sistema para entendimento da linguagem.

Dimensão 4 : Nível de complexidade

O grau de complexidade num espaço específico de negociação refere-se à complexidade da interação que é apoiada pelo ambiente. Tal complexidade está diretamente vinculada ao tipo de objeto de negociação envolvido (dimensão 2) e também ao nível de simetria apresentado pelo sistema. Podemos, entretanto, identificar um grau mínimo de complexidade necessário para que a descrição do comportamento do sistema seja considerada uma negociação. Três ações devem ao menos ser apoiadas e compreendidas (tanto no plano conversacional como no de tarefa): Oferta (diferentes objetos de negociação propostos como candidatos para aceitação mútua), Aceitação e Rejeição.

Uma interação surpreendentemente rica pode ser minimamente apoiada por essas mesmas três ações, dentro de determinadas estratégias de negociação. Por exemplo, refinamento mútuo pode ser apoiado por seqüências sucessivas de Ofertas de ambos agentes, sinalizadas por Aceitação ou Rejeição. Nesse caso, muitos efeitos indiretos dos atos podem ser produzidos. O mesmo ocorre com a estratégia de argumentação, que pode ser implementada de forma simplificada, na qual uma Oferta, seguida de uma Rejeição, pode ser contextualmente interpretada como uma Defesa à oferta previamente rejeitada, e assim por diante. Entretanto, um jogo mais rico de ações será exigido para apoiar negociações mais eficientes, particularmente aquelas que trabalham sobre o significado dos objetos de negociação oferecidos. Finalmente, deve ser observado que a complexidade pode ser mais ou menos simétrica.

Dimensão 5 : nível de flexibilidade

O nível de flexibilidade refere-se basicamente ao nível de liberdade que cada agente possui em realizar ou não as diferentes ações numa dada etapa de interação. Assim, o sistema pode forçar os agentes em negociação a chegarem a um acordo a cada passo do processo, antes de executar o próximo, ou levá-los em parte, marcando acordo ou desacordo somente quando considerar relevante. As mudanças de tema podem ser restringidas ou não; o sistema pode forçar os dois agentes a tomarem uma decisão em um ponto antes de mover a outro e assim por diante. O nível de flexibilidade

freqüentemente é determinado por restrições/limitações tecnológicas. Entretanto, em ambientes de aprendizagem, idealmente o nível de flexibilidade pode ser determinado por necessidades pedagógicas. Como exemplo, um aluno de medicina apenas poderá avançar na construção de seu modelo bayesiano quando o modelo corresponder a uma rede bayesiana, ou seja, ser um grafo acíclico, desconexo e direcionado. Enquanto essa condição não for atingida, o sistema mantém a mesma estratégia, ou seja, apresentar o conceito de rede bayesiana ao aluno. Essa inflexibilidade pode ser vista como promotora de reflexão e aprendizagem.

2.4.2 A Relação entre o AMPLIA e os Ambientes de Aprendizagem Colaborativa

Na área da educação, uma atenção especial é dedicada aos domínios de conhecimento incerto, como o dos julgamentos e dos diagnósticos, que envolvem uma quantidade considerável de variáveis com inter-relações de dependência. A formação de especialistas nesses domínios exige que os alunos desenvolvam um raciocínio que lhes permita analisar diferentes hipóteses, optando por aquela que acreditam ser a mais provável em função das evidências disponíveis. Este é o propósito do ambiente de aprendizagem AMPLIA: propiciar a aprendizagem colaborativa utilizando recursos de negociação pedagógica entre o sistema e o aluno.

Devido ao domínio de conhecimento para o qual o AMPLIA foi construído – a área médica, onde raciocínio incerto é necessário – o projeto apresenta uma série de características que permitem a consolidação de um processo de negociação pedagógica efetiva. Ele é um sistema colaborativo que propicia uma forte simetria entre os agentes humanos e artificiais em termos de ação.

Logo, o objeto de negociação no AMPLIA é a crença em uma hipótese diagnóstica para um dado caso clínico que o aluno expressa usando um editor de redes bayesianas. Sobre o aspecto pedagógico, as redes bayesianas são ferramentas ideais para a construção do conhecimento incerto, o que torna o espaço de negociação mais largo e mais simétrico.

O uso de rede bayesiana como ferramenta de interação com o aluno aboliu de vez as limitações referentes à competência do sistema no entendimento da linguagem. O processo de construção do modelo bayesiano do aluno é acompanhado pelo sistema, o que permite sua intervenção sempre que necessário, i.e., o sistema, a cada ciclo de interação, aceita ou rejeita o modelo bayesiano do aluno, fazendo uso de argumentos adequados para cada situação.

Os recursos argumentativos do sistema (estratégias e táticas pedagógicas) procuram levar o aluno a refletir sobre suas ações (construção e modificação do modelo bayesiano), visando melhorar a sua hipótese diagnóstica. Por sua vez, a forma de argumentação oferecida ao aluno está relacionada à liberdade em modificar ou não o seu modelo bayesiano e a declaração de sua autoconfiança. É importante salientar que, embora os argumentos utilizados pelo aluno e pelo sistema sejam diferentes, a linguagem de interação é basicamente a rede bayesiana, facilmente compreendida tanto pelo aluno, como pelo sistema. Isso significa dizer que o sistema tem plenas condições de entendê-la e avaliá-la, apoiado na rede bayesiana construída pelo especialista e numa base de dados com casos reais como recursos para avaliação do modelo bayesiano do aluno. Com isso, o sistema intuitivamente oferece ao aluno a oportunidade de crítica ao modelo do especialista, quando este apresenta uma performance (correta identificação do diagnóstico de casos reais) menor do que a performance de sua rede.

3 A NEGOCIAÇÃO PEDAGÓGICA NO AMPLIA

Este Capítulo apresenta as idéias que norteiam a definição de negociação pedagógica. Negociação em um processo de ensino-aprendizagem, ou simplesmente negociação pedagógica, não é um processo econômico, ou seja, por definição, não existe uma troca de bens econômicos. O que realmente existe é a construção colaborativa de conhecimento. Pode-se então pensar que os diversos mecanismos de negociação, Teoria dos Jogos e Teorias de Mercado, mostram-se pouco úteis para a negociação pedagógica. Entretanto, esses mecanismos foram generalizados para trabalhar com versões mais abstratas do que valores econômicos, tais como, utilidades e preferências. Logo, a solução está em verificar a aplicabilidade da noção de utilidade num processo de negociação pedagógica. Esse é o foco da discussão apresentado neste Capítulo.

3.1 Introdução

Todos temos uma idéia intuitiva do que seja negociação. O caso mais corriqueiro é o da negociação do valor de compra ou venda de uma mercadoria (carro usado, por exemplo). Nessa negociação, espera-se que cada pessoa faça propostas que possam eventualmente convergir para um valor que seja aceito por todos os envolvidos. Um parceiro que não concorde com o valor sugerido pode tentar argumentar sobre as razões pelas quais sua proposta é *razoável* ou *justa*. Dessa noção cotidiana de negociação, pode-se notar que: o objetivo comum em uma negociação é buscar um acordo (valor final); os agentes envolvidos na negociação podem ter objetivos individuais e divergentes com os dos demais; a negociação consiste basicamente em uma seqüência de propostas que podem ser aceitas ou rejeitadas, e as estratégias de negociação possíveis servem para refinar as propostas iniciais em direção a um acordo ou para manter uma proposta, tentando convencer os demais a aceitá-la por meio da argumentação. O resultado dos processos de negociação, baseados na Teoria Econômica, está na maximização dos ganhos esperados pelos parceiros em negociação. Isto é, espera-se alcançar uma solução que maximize os ganhos dos parceiros em relação a todas as possibilidades de soluções de negociação existentes.

As negociações claramente podem ter outros objetos de negociação em vez do preço, tais como metas, crenças e assim por diante (referimos à 'coisa(s) negociada(s)'), e chamamos por negociação as sucessivas propostas que normalmente estão relacionadas umas as outras por meios específicos. Entretanto, pode-se pensar que os diversos mecanismos de negociação, derivados da Teoria dos Jogos e das Teorias de Mercado (SANDHOLM, 1999) mostram-se pouco úteis para negociações cujo objeto de negociação não seja econômico (preço). Contudo, esses mecanismos foram generalizados para trabalhar com versões mais abstratas do que valores econômicos, tais como, utilidades e preferências. Dessa forma, os ganhos de cada parceiro de uma negociação são 'medidos' por uma função de utilidade.

Podemos então caracterizar uma negociação através da definição dos seguintes pontos: (1) o objeto de negociação (o que é negociado?); (2) o estado inicial da

negociação (metas, crenças, conflitos, etc.); (3) o estado final da negociação (o que é acordado?); e (4) os processos de negociação (o que leva do estado 2 para o estado 3). Esse esquema de análise forma a base para o modelo de negociação que está descrito neste trabalho.

Antes de nos aprofundarmos na natureza da negociação, primeiramente a seguinte pergunta precisa ser respondida: o que negociação tem a ver com aprendizagem e educação?

O conceito de negociação na área de ensino-aprendizagem.

Uma primeira suposição referente ao papel da negociação na aprendizagem poderia ser a figura de um professor catedrático que, expondo objetivos suficientemente sérios, mostra-se livremente disposto a discutir com os seus alunos a forma de como a interação de ensino deve prosseguir e o que se pode considerar como uma solução aceitável para um determinado problema.

Considerando as quatro características de negociação mencionadas acima, a negociação em interações de ensino-aprendizagem pode se definir seguindo as seguintes características gerais: (1) o objeto de negociação é a aprendizagem e as interações baseadas em objetivos, problemas a serem resolvidos, respostas para esses problemas, temas a serem abordados, explicações, etc., sendo que a negociação pode ou não ocorrer em relação a esse objeto de negociação; (2) o estado inicial possui o objetivo comum de interação, visando à aprendizagem; (3) o estado final, o acordo em relação à característica 1, e (4) processos de negociação que podem incluir um exame crítico das razões que levaram aos diferentes pontos de vista. O problema maior está na pressuposição de que um parceiro sabe como determinar sua utilidade para uma situação, assim como em situações decorrentes de suas ações (SANDHOLM, 1999). Isso não ocorre em um processo de ensino-aprendizagem, pois é difícil perceber como um aluno (ou um agente que o representa em um ambiente de aprendizagem) tem definidas suas preferências, tanto atuais quanto futuras, num processo de ensino.

A posição teórica natural, em oposição à abordagem de *aprendizagem como negociação*, freqüentemente é aquela que vê a aprendizagem como *transferência de conhecimento*. Com muita freqüência, a visão de *transferência* está implicitamente presente em muitos trabalhos, podendo ser abstraída com alguma dificuldade. Essa visão pode ser encontrada, por exemplo, nos trabalhos de Sleeman; Brown (1982), onde citam que o objetivo do aluno está em interagir com o sistema WHY (COLLINS; STEVENS, 1983) visando à aquisição do modelo do domínio, ou que o objetivo do sistema é gerar explicações para sua transferência ao aluno (CLANCEY, 1992). A idéia de transferência também reaparece nos trabalhos de Wenger (1987) sob forma de "comunicação de conhecimento".

Caracterizar o processo de ensino-aprendizagem diretamente como um processo de transferência/comunicação de conhecimento implica em considerar a necessidade de se resolver questões epistemológicas clássicas que não têm respostas concretas: O que é conhecimento? Como poderia ser *transferido* de uma pessoa a outra? Como mensurar o conhecimento de uma pessoa? Acrescenta-se a essa argumentação, o discurso dos modelos pedagógicos apoiados na epistemologia genética de Piaget (1978), onde o conhecimento é construído pelo sujeito, através da interação sujeito-objeto. Segundo Becker, "... construtivismo significa isso: a idéia de que nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância, como algo terminado".

Outros trabalhos que foram conduzidos seguindo abordagens empíricas de argumentação também apresentam referências à importância da conversação e da negociação em aprendizagem - veja, por exemplo, (BAKER, 1999); (VEERMAN, 2000); (QUIGNARD, 2002); (SCHWARZ et al., 2001); (SEELY-BROWN, 1990); (LAVE; WENGER, 1989); (CLANCEY, 1992); (ROSCHELLE; CLANCEY, 1992). Entretanto, nesses trabalhos, o modelo de negociação não está explicitamente citado. Nesse paradigma, a negociação é tanto um meio para coordenar a percepção, a ação e o ambiente em si (SEELY-BROWN, 1990), quanto um mecanismo para construção social de conhecimento por conversação dentro de *grupos de trabalho* (LAVE; WENGER, 1989) (BAKER, 1999) (VEERMAN, 2000).

Em Sistemas Tutores Inteligentes (STI) a idéia de negociação gerou certa estranheza devido a algumas restrições impostas em sua concepção. Algumas das restrições são: (a) a implementação de mecanismos de interação genuinamente de iniciativa mista, e (b) a iniciativa de considerar apenas domínios de conhecimento que possuam um alto grau de formalização e consenso, tais como a matemática, a física e a informática, assim como *domínios* formados por uma coleção de fatos. Essencialmente, observa-se que nesses domínios há pouco espaço ou nenhuma necessidade de negociação com o aluno – Quando as respostas corretas são conhecidas, para que negociá-las?

A introdução da noção de negociação em STI foi apresentada por trabalhos acerca do tema *Negociação de Conhecimento* (MOYSE; ELSOM-COOK, 1992). Os temas principais apresentados incluem o fornecimento de negociação sobre pontos de vistas diferentes de um determinado domínio de conhecimento, sobre domínios onde os conhecimentos não são considerados certos, unidimensionais, completos e únicos, utilizando-se o conceito de crença como forma de construção colaborativa de conhecimento. Entretanto, observa-se que o relacionamento lógico ou conceitual entre negociação e STI permanece implícito.

Resumindo, embora a negociação tenha emergido nos estudos sobre ensino e aprendizagem, nenhuma pesquisa fornece uma análise sistemática do que é negociação, nem um modelo detalhado para processos de negociação em um processo de ensino-aprendizagem. Isso é necessário se queremos adicionar algum *peso* à noção de negociação e entender como se relaciona com a aprendizagem.

3.2 Negociação em Sistemas Tutores Inteligentes

A pesquisa em STI mostra-se interessada em acabar com a idéia de que o professor deve controlar a interação em um processo de ensino-aprendizagem. Esse interesse põe abaixo a visão de que o professor detém todo o conhecimento de um domínio específico, estando numa posição de autoridade sobre o aluno. Compreende-se que, para muitos domínios, não há uma única representação correta do conhecimento, e que a interpretação do domínio deve ser construída por professores e alunos. Essa realidade reforça a necessidade de se criar representações e mecanismos de apoio à negociação.

John Self, já em 1992, apontava as duas principais motivações que levam ao uso de negociação em STI: (1) capacitar as discussões sobre como prosseguir, que estratégia seguir, que exemplos olhar, etc., numa tentativa de desatar o controle padrão dos STI, e (2) permitir discussões acerca dos diferentes pontos de vista (isto é, as crenças), considerando que o agente (o tutor) não é infalível.

Desta forma, a abordagem de Negociação Pedagógica pode ser aplicada em áreas de conhecimento que apresentam algumas ou todas as características citadas abaixo:

- **Conhecimento incompleto:** alguns (ou todos) professores não possuem conhecimento completo sobre o domínio de conhecimento que ensinam. Essa característica refere-se aos limites individuais humanos (nenhum professor possui conhecimento sem limites) ou àqueles domínios cujo conhecimento (ou parte dele) está incompleto (o que é seguramente verdadeiro). Em relação à educação, essa característica é bastante relevante na medida em que se considera a possibilidade de incompletude do conhecimento individual em relação ao método de ensino aplicado ou ao conhecimento individual dos alunos.
- **Diferentes pontos de vista sobre o conhecimento:** para alguns domínios, não existe um único, privilegiado ou correto ponto de vista sobre o conhecimento. Essa característica afirma que pode haver diferentes visões conceituais num domínio de conhecimento. Um exemplo clássico é o que se observa em sistemas biológicos, físicos, geográficos ou outros, onde se podem adotar diferentes pontos de vista. Há duas principais abordagens para se representar esses pontos de vista: a abordagem de “sistemas de crença” e a abordagem “procedimental”. De acordo com a primeira, um ponto de vista é simplesmente um conjunto de crenças, podendo ser chamado de “contexto”, que representa apenas um subconjunto de um conjunto de crenças maior (SELF, 1992). A abordagem procedimental vai mais além, incluindo os mecanismos de raciocínio que podem ser aplicados a um determinado ponto de vista, e para um conjunto de contextos ou problemas para os quais o ponto de vista é apropriado dentro do ponto de vista em si (MOYSE, 1992).
- **Argumentação e crença:** existem domínios, ou parte deles, onde não existe “conhecimento”, mas somente um conjunto de crenças justificáveis que precisa ser discutido e argumentado. Essa característica prevê a transformação de pontos de vista, tanto do sistema como do aluno, em crenças, ao invés de em conhecimento. Isso implica em um tipo especial de diálogo de ensino, visto que uma troca interativa de crenças justificadas é uma definição simplificada de argumentação (SCHWARZ et al., 2001).
- **Múltiplas soluções:** para alguns problemas em alguns domínios, há diferentes soluções consideradas como corretas ou aceitáveis. Essa característica está relacionada à característica acima, desde que haja domínios onde existam múltiplas soluções, o que normalmente acontece em domínios mais *convencionais*, tais como alguns ramos da matemática e da física, onde há múltiplos métodos para a solução para um dado problema (MOYSE; ELSOM-COOK, 1992).
- **Construção do conhecimento:** Essa característica é visivelmente uma rejeição da idéia de *transferência de conhecimento*. Jean Piaget (1971) já dizia que o conhecimento é construído pelo aluno por meio de sua interação com o objeto de estudo.
- **Controle de interação:** o sistema não deve ter controle completo sobre a interação tutor-aprendiz em domínios que possuem alguma das quatro primeiras características.
- **Construção colaborativa de conhecimento:** a representação (pontos de vista) sobre o conhecimento do domínio a ser aprendido/ensinado, e as soluções de problemas em si, podem ser construídas em conjunto por professores e alunos.
- **Mecanismos de negociação:** mecanismos de negociação e representações (pontos de vista) para apoiá-los são necessários em interações de ensino-aprendizagem.

3.3 Perspectivas Multidisciplinares em Negociação

Após apresentar um paradigma para a Inteligência Artificial aplicada à educação baseado em negociação, apresenta-se uma reflexão acerca dos conceitos mais relevantes da negociação em Inteligência Artificial Distribuída (IAD) e em outros contextos.

Segundo Sandholm (1999), os mecanismos responsáveis pelo controle de um processo de negociação entre vários agentes podem ser avaliados com base em 6 critérios gerais:

- (a) Busca do Bem-estar Social;
- (b) Eficiência Econômica (Eficiência de Pareto);
- (c) Racionalidade (Individual);
- (d) Estabilidade;
- (e) Eficiência Computacional;
- (f) Eficiência da Comunicação e da Distribuição.

O critério (b), de Eficiência Econômica ou Eficiência de Pareto, é essencialmente tratado como um subcaso do critério (a), de busca do Bem-estar social do sistema. A Eficiência de Pareto é considerada um caso de busca de bem-estar social onde a utilidade de um dado estado do sistema pode ser calculada individualmente para cada agente, sem a necessidade de comparações de utilidades entre os agentes.

O critério (c), de racionalidade no comportamento de um agente, garante que os agentes apenas entrem no processo de negociação quando uma solução negociada for melhor (ou for possível) do que outra encontrada individualmente, ou seja, o agente apenas negocia se ganhar mais com essa negociação do que trabalhando sozinho. Protocolos de negociação que perdem esse critério, simplesmente não são (racionalmente) viáveis.

O critério (d) fornece uma medida da estabilidade a ser buscada num mecanismo de negociação entre vários agentes. Essa estabilidade é a propriedade que um processo de negociação possui em motivar um dado agente (egoísta, mas racional) a se comportar de uma maneira esperada. A idéia é que um dado agente, mesmo egoísta, ao entrar em interação (negociação) com outro agente, seja motivado (tenha maiores ganhos ou retornos) a assumir um determinado comportamento do que a agir de forma independente e inesperada. O resultado seria um processo de negociação mais estável, até certo ponto previsível e com objetivos claros de convergência.

Sandholm deixa claro que a forma mais geral de tratar a questão da estabilidade de um processo de negociação é considerar essa questão como a busca de um equilíbrio de Nash entre as estratégias de ação dos vários agentes. A noção de Equilíbrio de Nash está relacionada à teoria dos jogos e prevê quais são as estratégias de ação a serem adotadas por agentes racionais para maximizar seus resultados num jogo competitivo.

O equilíbrio de Nash entre os agentes a_1, a_2, \dots, a_n , pertencentes a um dado sistema multiagente A , é atingido quando o conjunto $S_A^* = \langle S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^* \rangle$, formado pelas estratégias de ação a serem proximamente tomadas pelos agentes de A , satisfaz a condição que para qualquer agente $a_i \in A$ tem-se que a estratégia de ação S_A^* é a melhor estratégia a ser utilizada (aquela que tem o maior retorno ou maior utilidade), sabendo-se que os demais agentes de A irão escolher as estratégias $\langle S_1^*, S_2^*, \dots, S_{i-1}^*, S_{i+1}^*, S_n^* \rangle$.

Sandholm identifica dois problemas que podem ocorrer em relação ao equilíbrio de Nash de um dado sistema: (1) nem sempre ele existe, ou seja, nem sempre um Equilíbrio de Nash é atingido; e (2) alguns jogos admitem múltiplos equilíbrios, sem deixar claro qual deles seria o melhor ou mais razoável.

Além disso, um outro aspecto importante é a relação entre os critérios de Eficiência Econômica e Estabilidade, ou, mais simplesmente, a relação entre os objetivos vinculados à Eficiência de Pareto, e os vinculados ao equilíbrio de Nash. Segundo Sandholm, esses objetivos podem, ocasionalmente, entrar em conflito. O exemplo clássico de tal situação é o jogo do dilema do prisioneiro, onde dois prisioneiros possuem duas estratégias de ação básicas a serem tomadas: cooperar com a polícia e delatar o colega, ou então, não cooperar, com ganhos distintos entre cada uma destas ações e, mais ainda, ganhos distintos em função da alternativa de ação empreendida pelo outro prisioneiro (um prisioneiro ganha muito mais em delatar o colega, caso esse colega não o delatar). No caso desse dilema, embora a melhor alternativa de ação para ambos (aquela que traz os maiores benefícios) seja a de não cooperar com a polícia, o fato é que a estratégia racional a ser seguida por ambos não será a melhor, mas a “menos pior” das alternativas, que é a de cooperarem com a polícia, ganhando reduções em suas penas. Isto é, nesse caso, o Equilíbrio de Nash não leva a uma solução Pareto-eficiente.

Por fim, os dois últimos critérios apresentados por Sandholm, Eficiência Computacional e Eficiência de Comunicação, delineiam objetivos de minimização de uso de recursos computacionais e de recursos de comunicação.

3.3.1 Pressupostos Implícitos da Negociação

Para que haja avanço nesta análise sobre mecanismos de negociação, que permita que se chegue à negociação pedagógica, é necessário levantar alguns pressupostos que estão implícitos nos critérios de negociação até agora discutidos. As referências a mecanismos e protocolos de negociação estão preferencialmente baseadas no trabalho de Sandholm (1999), assim como os critérios de negociação.

(1) Um dado agente sempre tem como determinar sua utilidade para a situação em que se encontra. De maneira similar, ele tem como saber que novo valor de utilidade suas ações irão causar. Do ponto de vista das teorias econômicas, a utilidade de uma situação é usualmente definida através de uma *função de utilidade*, que deve ser modelada para satisfazer os princípios da teoria da utilidade (RUSSEL; NORVIG, 1995).

A utilidade de uma dada situação não tem de ser necessariamente calculada apenas pelo agente, podendo também ser obtida através da troca de informações entre os agentes. Isto é, a função de utilidade pode ser tanto uma função localmente calculada, quanto distribuída. A relação entre o que deve ser feito localmente e o que deve ser distribuído é definida pelo balanço (*tradeoff*) entre os recursos computacionais e os recursos de comunicação necessários para o cálculo, ou seja, um balanço entre os critérios de eficiência computacional e eficiência de comunicação.

Ocasionalmente, a utilidade de uma situação requer consideráveis recursos computacionais ou de comunicação para ser calculada, porém não se discute nos mecanismos de negociação que esse cálculo seja impossível (ou realmente indeterminado), mas apenas qual o melhor balanço de recursos de computação e de comunicação são necessários para calculá-la e como eles deveriam ser reservados.

(2) Uma outra pressuposição implícita, diretamente relacionada ao uso da Teoria de Utilidade, é que uma consequência direta de se trabalhar com funções de utilidade é que um dado agente sempre tem claramente definidas quais são suas *preferências* numa situação ou estado, e que essas podem ser consideradas como suas intenções ou desejos.

(3) Outro pressuposto assumido pelos mecanismos clássicos de negociação baseados na Teoria Econômica é que o grau de confiança assumido pelos agentes é bastante reduzido, basicamente se assumindo um comportamento racional, puramente individualista (egoísta), para cada agente (as exceções são basicamente os protocolos derivados da Teoria da Barganha e os protocolos de negociação usados para criar coalizões).

(4) Geralmente, os papéis assumidos pelos agentes dentro de um sistema ou sociedade de agentes são bastante limitados. Nos casos mais simples, de protocolos de votação e de barganha, os agentes apenas assumem um papel único como agentes sociais ou econômicos, com características bastante similares. Nesses casos, apenas a valoração de utilidade é que muda para cada agente, ou seja, mudam apenas suas preferências.

Nos demais mecanismos, os agentes podem assumir papéis clássicos das teorias econômicas, diretamente como produtores ou consumidores nos protocolos de negociação baseados na Teoria Geral de Equilíbrio de Mercado, ou por meio de papéis similares como: vendedor (leiloeiro) e compradores nos protocolos de leilão, e como gerente (contratante) e fornecedores (contratados) nas negociações baseadas em redes contratuais.

3.3.2 Confiança e o Processo de Negociação

Neste item, nos deteremos nas situações onde a busca do equilíbrio de Nash, num processo de negociação, não leva a um resultado pareto-eficiente. O pressuposto é que uma solução pareto-eficiente, para um processo de negociação, seja uma solução mais *justa* do ponto de vista econômico e social. Claro que existem mecanismos de controle para o processo de negociação, como, por exemplo, nos protocolos de leilão ou naqueles baseados na teoria da barganha (*Bargaining*), cujas soluções derivadas de estratégias de ação em equilíbrio de Nash são pareto-eficientes. Porém, um ponto que está sendo defendido neste trabalho é que esses não são necessariamente os casos mais gerais, principalmente quando se tenta analisar o processo de negociação entre agentes, fora dos limites das teorias econômicas e de mercado, de onde se originaram tais critérios.

Com o que já foi discutido anteriormente, parece ficar claro que a razão porque um agente não toma um curso de ação (uma estratégia de ação) que o levaria a uma solução pareto-eficiente está diretamente relacionada à falta de confiança nas decisões que os outros agentes irão tomar, justamente quando existe a possibilidade desses agentes ganharem mais com ações que ocasionem perdas para o agente original. Nessa situação, é simplesmente irracional esperar um comportamento menos egoísta dos outros agentes⁴.

⁴ Inclusive, segundo Castelfranchi & Falconi (1998, p.76, §3.3), seguindo adiante neste raciocínio, simplesmente teríamos como admitir que toda a sociedade humana está fundamentada na irracionalidade humana. Essa consequência é inevitável se assumirmos que a confiança (*trust*, no texto original) é um dos pilares fundamentais da

O fato é que, entre os agentes humanos, os processos de negociação não se dão apenas dessa forma completamente egoísta de relacionamento. Forjamos elos de confiança uns com os outros, o que nos permite buscar objetivos mais complexos e obter resultados mais significativos do que agindo individualmente, ou seja, existe claramente um comportamento cooperativo no processo de negociação (pelo menos para ele alcançar o sucesso).

Da mesma forma, parece razoável esperar esse tipo de comportamento entre agentes artificiais que participam de uma sociedade de agentes. Isso implica que somente com a inclusão de objetivos claros de como elos de confiança podem ser criados e mantidos entre os agentes de uma sociedade é que um mecanismo de negociação poderia almejar atingir soluções Pareto-eficientes.

Baseando-se no trabalho de Sandholm (1999), parece que boa parte dos trabalhos nessa área visam, essencialmente, garantir que os agentes se comportem de uma forma sincera (*truthfull*) em relação as suas ações, isto é, os mecanismos de negociação são projetados para evitar que os agentes possam agir de forma não sincera, fazendo (obviamente) com que eles ganhem mais em agir dessa forma.

Porém, a noção de sinceridade, embora garanta a obtenção de soluções pareto-eficientes, pelo menos nos protocolos de leilão⁵, parece ser somente uma parte do conceito de confiança entre agentes. Isso significa que, mesmo sabendo que um agente está (obrigatoriamente) se comportando de forma sincera, ainda não se pode prever como esse irá se comportar em outros momentos ou situações, isto é, não possuímos um grau claro de confiança no comportamento desse agente.

Existem várias formas de analisar a confiança entre agentes, sendo possível caracterizar diversos aspectos importantes nessa noção. Segundo Castelfranchi e Falconi (1998), relações de confiança (*trust*) entre agentes dependem de estados mentais e, portanto, somente agentes com atitudes mentais (crenças, desejos, intenções, etc.) podem confiar uns nos outros. Além disso, existe uma relação complexa entre o estado mental de confiança e a ação de delegação de tarefas entre agentes que leva esses autores a dividir o estado mental da confiança num nível de confiança básico (*core trust*) e num nível mais alto de confiança assegurada (*reliance*). Somente este último nível é que permite uma delegação confiável de tarefas.

Entretanto, para os propósitos do presente trabalho, não se utiliza essa abordagem complexa, que está intimamente ligada à noção de delegação confiável. A delegação confiável é necessária quando um grupo de agentes tem de dividir tarefas para atingir um dado objetivo real comum. Porém, num processo de ensino-aprendizagem, esse tipo de delegação não é fundamental, porque, como se verá mais adiante, é o próprio vínculo de confiança que está sendo forjado nesse processo. Nesse caso, a delegação é apenas

sociedade, sem a qual qualquer tipo de interação social, aliança, cooperação, instituição ou grupo não seria possível.

⁵Nos protocolos baseados na Teoria da Barganha, conforme Sandholm (1999), já existe uma pressuposição de confiança entre os agentes. A idéia básica de uma barganha é justamente a de um acordo mutuamente benéfico para os participantes. Nessa teoria, os agentes já estão predispostos a cooperar entre si para atingir tais acordos e, portanto, já assumem um grau de confiança maior do que seria de esperar entre agentes racionais, egoístas e puramente competitivos.

pró-forma, servindo essencialmente como instrumento para avaliação do andamento do processo em situações controladas (ela equivale aos testes, provas, trabalho e tarefas ministrados no decorrer do processo).

Dessa forma, será adotada uma noção mais fraca de confiança, voltada apenas a uma expectativa de atos futuros de um agente, que é similar à noção de confiança (*confidence*) definida por Fischer e Ghidini (2002). A noção de confiança desses autores é baseada numa lógica modal de crenças e habilidades, que está intuitivamente de acordo com a idéia de que confiamos em alguém quando sabemos como será seu comportamento em determinadas situações (ela não irá nos trair, mesmo sob pressão, por exemplo).

A expressão formal para confiança de Fischer e Ghidini é dada pela fórmula $B_i \diamond \varphi$, onde B_i é o operador modal de crença do agente i , \diamond é o operador temporal de eventualidade e φ uma fórmula bem-formada da linguagem. Essa expressão apenas define que a confiança de um agente é modelada pela crença do agente i que a proposição φ eventualmente se tornará verdadeira (ou que ação φ eventualmente irá ocorrer) pela ação do agente j .

Além disso, aprofundando um pouco o tema, parece claro que a confiança de um agente A em outro agente B somente poderá surgir quando o agente A puder formar um modelo de comportamento do agente B apropriado para descrever como este agente B irá se comportar em situações futuras. Se esse modelo é inferido pelas ações praticadas por B até o momento, ou se é obtido de um outro agente C no qual A já confia para obter esse tipo de informação, ou se ainda é obtido de outra forma, isso depende justamente dos mecanismos de negociação existentes na sociedade de agentes. Outra questão significativa é como manter um dado modelo de comportamento frente a situações reais. Quando o agente B realmente se comporta do modo esperado, está tudo bem (no máximo ocorre um “reforço” do nosso grau de confiança). Porém, quando isso não ocorre, o que deve ser feito? Jogar fora todo o modelo estabelecido até agora e começar tudo de novo, ou apenas fazer algumas alterações menores no modelo, mudando algumas expectativas, mas mantendo a maioria delas?

Uma consequência importante de se analisar a questão da confiança entre agentes, sob o ponto de vista da modelagem do comportamento de um agente, é que essa abordagem apresenta um vínculo direto com as questões de aprendizagem em SMA. Em particular, essa abordagem apresenta fortes similaridades com os objetivos e técnicas de aprendizagem que um dado agente deve ter para identificar as capacidades, comportamentos e objetivos dos demais agentes (ver o trabalho de Sen & Weiss (1999), p. 272-281).

3.4 Negociação Pedagógica

3.4.1 Uma Definição Inicial para a Negociação Pedagógica

As questões tratadas até agora serviram basicamente para apresentar as características mais gerais dos processos de negociação entre agentes. A idéia foi a de criar um quadro de referência conceitual, onde as características do processo de ensino-aprendizagem, diretamente relacionadas à negociação, pudessem ser discutidas. Embora a maior parte dos temas tenha sido apresentada com o enfoque usual das teorias econômicas, alguns aspectos importantes foram apresentados de uma forma diferente da empregada na análise econômica tradicional, servindo para preparar o terreno para

discussões envolvendo o papel da negociação nos processos de ensino-aprendizagem. Pertencem a essa categoria, tanto a discussão sobre a influência da confiança entre agentes no processo de negociação, quanto a evidencia de vários pressupostos implícitos nos mecanismos de negociação.

Portanto, poder-se-ia pensar que os diversos mecanismos de negociação tratados até agora se mostraram pouco úteis para tratar o caso da negociação pedagógica, porém, esta é uma abordagem muito simplista, uma vez que todos (ou praticamente todos) esses mecanismos, embora originalmente baseados em teorias econômicas, foram generalizados para trabalhar com versões mais abstratas que valores monetários: as *utilidades* e *preferências*. Isso implica que o problema aqui é verificar a aplicabilidade da noção de utilidade num processo de negociação pedagógica.

Seguindo adiante, vamos caracterizar de forma positiva o conceito de *negociação pedagógica*. Uma negociação é basicamente um processo de decisão que serve para resolver conflitos que possam surgir na interação entre agentes. Entretanto, não vemos a existência de *conflito* – se abertamente declarado e reconhecido ou não – como essencial à definição de *negociação pedagógica*. O que basicamente se exige é que a interação entre os agentes possua um *objetivo mútuo* para alcançar um *acordo* em relação a um *objeto de negociação*. Normalmente, diversas dimensões do objeto de negociação são negociadas simultaneamente. O estado inicial para uma negociação é, então, a *ausência de um acordo*, podendo ou não incluir conflito.

Para uma aplicação real, essa definição ainda está incompleta, porque falta definir quais agentes (que tipos de agentes) participam num processo de ensino-aprendizagem, qual o resultado esperado desse processo, que conflitos podem aparecer nele e, finalmente, que estratégias pedagógicas seriam adotadas para resolvê-los. Esses temas serão tratados a seguir.

3.4.2 Cenários de Ensino-Aprendizagem

Quando se busca definir que tipos distintos de agentes interagem num processo de ensino-aprendizagem, na verdade se busca atribuir que papéis esses agentes podem assumir. A especificação de quais são esses papéis, de que forma agentes incorporando tais papéis podem se relacionar e também de qual será o tema ou assunto a ser ensinado/aprendido, será denominada cenário de ensino-aprendizagem. Existem vários cenários possíveis num processo de ensino-aprendizagem: começando pelo mais simples, que é formado pelo aluno autodidata (único), que busca apreender diretamente a partir de *fontes de conhecimento* passivas, tais como livros, revistas, etc. (certamente tais fontes não poderiam ser consideradas como agentes ativos); passando pelo estilo professor-tutor, onde existe um aluno e um professor-tutor para esse aluno; e chegando ao clássico estilo sala de aula, que divide os agentes num professor e vários alunos (essa lista não é exclusiva, obviamente outros cenários são possíveis).

Na análise inicial do tema da negociação, este trabalho utiliza um cenário de aprendizagem dividido em dois tipos *clássicos* de papéis que os agentes podem assumir: alunos ou professores.

Dentro desse cenário, um aspecto importante a ser definido é a relação entre esses dois tipos de papéis frente à noção de confiança entre agentes e em relação ao tema de estudo. Se irá pressupor, no início do processo de ensino-aprendizagem, uma relação assimétrica de confiança em relação ao domínio ou tema sendo ensinado. Parece óbvio, para que o processo de ensino-aprendizagem seja possível, que o aluno inicialmente

tenha de ter mais confiança no conhecimento do professor sobre esse tema do que o contrário. Durante o decorrer do processo, essa relação deve deixar de ser assimétrica.

Com isso, não se está querendo dizer que essa confiança do aluno no professor tenha de ser *cega*, ou que tenha de continuar alta durante todo o processo, apenas se quer salientar que sem uma maior confiança inicial do aluno no professor, no início do processo de ensino-aprendizagem, não há nem como começar esse processo.

O próximo capítulo apresenta o projeto AMPLIA.

4 O PROJETO AMPLIA

O AMPLIA (Ambiente Multiagente Probabilístico Inteligente de Aprendizagem) é um projeto de pesquisa desenvolvido pelo Grupo de Inteligência Artificial do Instituto de Informática da UFRGS. Esse projeto conta com a participação de doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Computação e do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, ambos da UFRGS, além de diversos bolsistas de graduação em Ciência da Computação. O projeto AMPLIA, em seus três anos de existência, já gerou uma razoável quantidade de publicações, incluindo trabalhos que descrevem a arquitetura básica desse ambiente (SEIXAS et al., 2002) (VICARI et al., 2003) (FLORES et al., 2004), trabalhos que apresentam os conceitos de negociação pedagógica nele empregados (FLORES et al., 2003-a) (FLORES et al., 2003-b) (FLORES et al., 2004), um artigo que mostra a modelagem do comportamento e da interação dos agentes envolvidos nessa negociação (SEIXAS et al., 2003), (SEIXAS et al., 2004) e um trabalho que lista algumas dificuldades encontradas na implementação e na integração do AMPLIA com outros ambientes inteligentes de ensino (FLORES et al., 2004). Esta seção apresenta uma descrição do AMPLIA, destacando os aspectos mais relevantes ao problema a ser proposto como tema de pesquisa desta tese.

Este Capítulo apresenta a arquitetura multiagente do sistema AMPLIA. Na seção 4.1 são apresentadas as diretrizes de projeto estabelecidas para o ambiente AMPLIA e na seção 4.2 é descrita a organização interna dos vários agentes que compõem esse ambiente, bem como, suas funcionalidades diante do processo de negociação pedagógica proposta nesta tese.

4.1 Diretrizes de projeto

O AMPLIA está sendo projetado como ambiente de ensino a ser usado como recurso adicional na formação de estudantes na área de Medicina. Esse ambiente tem como objetivo apoiar o desenvolvimento do raciocínio diagnóstico e a modelagem de hipóteses diagnósticas, utilizando mecanismos probabilísticos para a representação do conhecimento (VICARI et al., 2003). Considera-se que o aluno, usuário do AMPLIA, possui experiências prévias de caráter técnico-científico, e que deseja desenvolver o seu raciocínio diagnóstico. Pressupõe-se ainda que seu objetivo seja, além de acertar eficazmente o diagnóstico para um paciente, entender como as diferentes variáveis (sintomas, sinais, dados laboratoriais) relacionam-se probabilisticamente entre si.

O AMPLIA foi projetado como um Sistema Multiagente (SMA) formado por agentes autônomos e cooperativos, com distintas habilidades e atribuições (agentes heterogêneos). A metodologia de projeto dos agentes, primeiramente adotada no projeto, seguiu a abordagem de Gaser (1995). Essa metodologia caracteriza-se por descrever o comportamento dos agentes autônomos através de quatro competências básicas: reativa, cognitiva, cooperativa e social. Eles são organizados em quatro níveis distintos, onde o nível reativo é o mais baixo, os níveis cognitivo e cooperativo são os intermediários e o social é o nível mais alto. Nesta abordagem, o conceito de sociedade é fundamental para a coesão do sistema, ou seja, os agentes devem estar motivados a

buscar objetivos comuns. Esses objetivos podem ser simples como a necessidade de troca de informação e conhecimento ou podem ser tarefas complexas, impossíveis de serem realizadas por um único agente. Uma sociedade de agentes é composta por regras de comportamento social baseadas na competência de seus membros. Essas regras influenciam tanto o ambiente onde os agentes interagem como o próprio agente.

Quando esses princípios começaram a ser aplicados no AMPLIA, alguns tópicos da metodologia de Gaser tiveram de ser adequados às características do domínio de aplicação do sistema. Outros ajustes também tiveram de ser feitos de forma a tornar o projeto de acordo com os padrões especificados pela FIPA, em particular com a arquitetura abstrata de agente sugerido pela FIPA (2003). Devido a esse fato, dois aspectos fundamentais na modelagem de Gaser (1995) foram mantidos: todos os agentes são descritos através de níveis de abstração distintos e a sociedade criada para esses agentes possui regras claras de cooperação/interação.

4.1.1 Planos e camadas de abstração

Considerando a aceção definida acima, os aspectos arquiteturais de um SMA se caracterizam pela definição de quais são seus agentes, que tipos de estados cognitivos eles apresentam, quais são suas responsabilidades, que papéis podem assumir e, por fim, que conhecimentos ou informações são capazes de compreender e que ações concretas são capazes de realizar. Essas duas últimas características em particular (informações e ações) estão bastante relacionadas com a forma como ocorre a comunicação ou a troca de informações entre os agentes do SMA.

No AMPLIA, as questões de comunicação são tratadas dentro de uma perspectiva abstrata de projeto, denominada plano ontológico do SMA, que define o significado das informações e conhecimentos trocados entre os seus diversos agentes (o metanível do sistema). O objetivo principal desse plano é definir uma ontologia, isto é, um vocabulário básico para que cada agente possa se comunicar e compartilhar suas informações. Esse plano também pode ser compreendido como um plano superior de projeto ou metanível declarativo, porque é composto basicamente por definições e especificações, ou seja, nesse plano se define apenas o que o agente compreende e o que é capaz de fazer, mas não como ele faz.

A definição de como um agente pode compreender as informações que lhe são repassadas ou como pode executar as ações ou funções que lhe corresponde, pertence a um outro tipo de plano abstrato de projeto. Esse plano é denominado plano funcional do SMA, que diz como seus agentes são construídos e como funcionam. É nesse plano que se define a organização interna dos agentes do SMA. Nesse plano são consideradas questões de como os agentes devem ser construídos para atender a um determinado papel ou função.

No AMPLIA, o plano funcional de cada agente é dividido em diversos níveis (ou camadas) distintos. Cada camada incorpora tarefas e funções importantes do agente, que podem ser vistos de forma independente das outras camadas, isto é, cada uma oferece um nível de abstração distinto em termos de projeto do agente. Assim, cada camada incorpora uma visão funcional distinta do agente que pode ser diferenciada claramente das outras, ajudando no projeto dos módulos e processos responsáveis por executar as tarefas e funções da camada. Também é importante, pelo menos em termos de projeto, que haja uma interface clara entre as camadas.

A organização de camadas no AMPLIA divide o comportamento dos agentes nos aspectos de decisão, operacional e de interação. Assim, cada agente é projetado em três níveis:

- **Nível de decisão:** nível superior do agente que congrega os principais processos decisórios do agente, ou seja, é o nível onde se concentram suas atividades de julgamento e diagnóstico em relação ao seu próprio estado cognitivo e ao que está acontecendo no meio externo.
- **Nível operacional:** nível intermediário que é responsável pela operacionalização das decisões tomadas no nível superior, ou seja, é responsável por planejar e executar as decisões tomadas pelo agente. Além disso, para que o agente possa tomar decisões corretas (ou pelo menos apropriadas), é importante que esteja bem informado. Assim, esse nível também é responsável pelo planejamento e execução de ações de busca, coleta e classificação de informações (evidências) necessárias para que o nível superior tome suas decisões.
- **Nível de interação:** nível mais básico que é responsável por acomodar todas as ações e atividades de interação do agente com o meio externo.

Uma vez que atividades de decisão são continuamente tomadas pelos módulos e processos do agente, independente de que nível da organização tais elementos residam, é importante salientar o caráter de alto grau de abstração dos processos decisórios implementados no nível superior. A premissa básica que faz com que um processo de decisão seja colocado neste nível é que tal processo envolva a representação que o agente faz de si mesmo (seu estado mental) e do mundo que o cerca (incluindo evidências recentemente coletadas). Assim, são decisões que caracterizam o comportamento do agente em termos de suas agências mentais mais elevadas: suas crenças, autonomia e intencionalidade.

As considerações levantadas acima, sobre quais decisões devem ou não ser classificadas como de *alto nível* e, portanto, devem pertencer ao nível superior do agente, podem ser generalizadas para as demais atividades ou tarefas do agente. Da mesma forma que no caso das decisões, não é só no nível de operacionalização que processos de planejamento ou coleta de informações são executados pelo agente. Porém, considera-se que somente aqueles processos de operacionalização diretamente relacionadas ao cumprimento de uma decisão do agente (ou aqueles processos envolvidos na coleta de informações para essas decisões) devem ser colocados no nível intermediário.

Assim também, pode-se considerar que interações do agente com o meio ocorrem continuamente e em todos os níveis, mas é o nível de interação que agrega o conhecimento sobre como realmente executar ações de interação (entre elas as de comunicação) com o meio externo, sobre como agir nesse meio. Outros níveis trocam informações e conhecimentos com o meio externo em caráter cada vez mais abstrato, mas somente por intermédio de ações concretas tomadas no nível de interação.

Além de questões a respeito de como os processos do agente devem ser classificados e distribuídos nos níveis do plano funcional, existem outras considerações sobre como acontece a interação ou troca de informações entre eles. O ciclo básico é bastante simples: informações e conhecimentos sobre o meio externo são percebidos pelo agente através de ações executadas no nível de interação, algumas (ou todas) são repassadas ao nível operacional que, após um processo de coleta e classificação, também as repassa ao nível decisório para que o agente faça seus diagnósticos e julgamentos sobre essas

informações e, então, tome suas decisões. Essas decisões, por sua vez, são repassadas ao nível operacional, que tem de se planejar e organizar para executá-las, ou seja, tem de definir que ações têm de ser executadas para que uma dada decisão possa ser cumprida. Muitas dessas ações envolverão interações com elementos do meio externo (por exemplo, comunicação com outros agentes) e, embora selecionadas no nível operacional, são concretamente executadas por operações do nível de interação. Assim trabalham os agentes do AMPLIA

4.1.2 Tipos de Agentes

Uma arquitetura distribuída baseada em agente reflete, naturalmente, o ambiente distribuído baseado na Internet. A proposta do AMPLIA é não haver diferença virtual entre humanos e agentes de software. O AMPLIA provê a possibilidade de integrar os recursos oferecidos por um STI a outros recursos de aprendizagem que respondam a questionamentos sobre o domínio em estudo ou à necessidade de aprendizagem. Isso poderia levar a um *courseware* ou a um parceiro humano (seja professor ou aluno) que pode ajudar o aluno a resolver um problema. Desse modo, um humano, sob o ponto de vista pedagógico, entra para compensar as limitações relativas ao uso exclusivo de agentes de software.

É condição necessária existir um componente diagnóstico poderoso para o desenvolvimento de um ensino individualizado. O agente humano pode fazer parte desse processo, ajudando a identificar o problema que o aluno está enfrentando quando o agente de software falha. Esse diagnóstico pode ser posteriormente incorporado ao sistema. Desse modo, uma arquitetura baseada em agentes provê uma sinergia natural entre homens e agentes de software (componentes diagnósticos, agentes pedagógicos, sistemas de ajuda on-line, busca inteligente da Web baseada na seleção semântica de materiais de apoio, etc.).

Esse é o cenário que queremos atingir com a construção do AMPLIA. A figura 4.1 apresenta um esboço da arquitetura multiagente do ambiente AMPLIA.

O ponto inicial de nossos esforços está em estabelecer um mecanismo de coordenação entre os agentes que habitam essa sociedade. A interação que ocorre entre o agente pessoal, que representa o aluno nessa sociedade, e o agente diagnóstico é vista como um processo de negociação pedagógica. A ausência de um acordo entre ambos agentes é resolvida com o auxílio de um agente pedagógico, cuja função está em estabelecer o foco da discussão à medida que a tarefa de modelagem diagnóstica do aluno vai avançando. Os usuários (alunos, professores e aplicações) são representados por agentes autônomos que fazem parte de uma reunião social baseada em objetivos, que comunicam, cooperam e negociam entre si, em um ambiente multiagente (sejam eles humanos ou artificiais).

No AMPLIA, a aplicação diagnóstica é representada pelo agente de domínio (*DomainAgent*) e pelo o agente pessoal (*LearnerAgent*), que pode negociar crenças sobre as relações entre as ações e os níveis de tomada de consciência do aluno. Se o poder de argumentação do aluno não for suficiente para convencer a aplicação diagnóstica (se a solução apresentada pelo aluno realmente estiver incorreta), o agente pessoal solicita a ajuda de um agente pedagógico (*MediatorAgent*) para auxiliar o usuário nesse processo de negociação. Esse agente pedagógico pode buscar e contatar um agente de busca específico do domínio de aplicação (para disponibilizar material de apoio ao usuário) ou então contatar um usuário especialista para executar o serviço de

prover uma descrição do problema e o auxílio necessário ao aluno, caso os argumentos utilizados pelo agente diagnóstico não sejam suficientes para esclarecer o aluno.

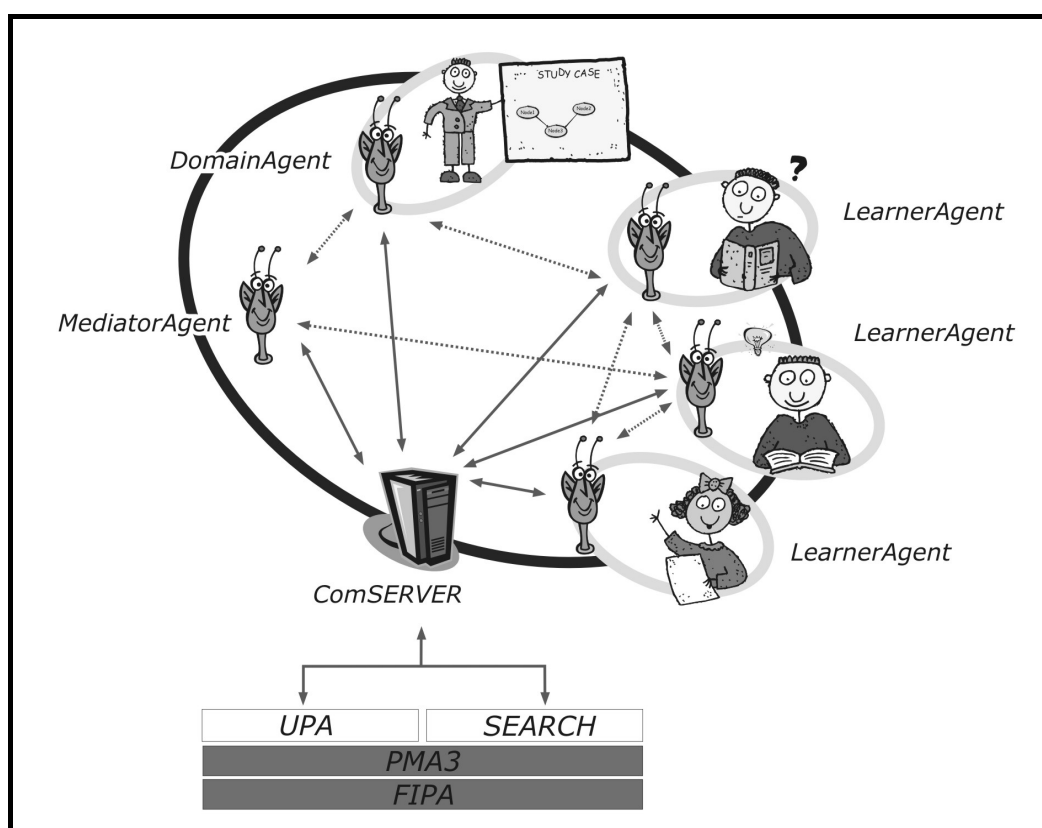


Figura. 4.1: A arquitetura multiagente do ambiente AMPLIA

Assim que são diagnosticados o objetivo final do aluno e o estado de seus recursos cognitivos (o modelo bayesiano do estudo de caso proposto, e o *log* de ações realizadas pelo aluno na interface), o agente Aprendiz consulta o agente Mediador e este decide como melhor ajudar o aluno na busca de seus objetivos. Suponha que o agente de Domínio informa ao agente Aprendiz que o usuário que ele representa está procurando atingir seu objetivo (modelar um estudo de caso) utilizando táticas incorretas, por exemplo, um grafo cíclico (isso significa que falta ao usuário algum recurso, nesse caso, conhecimento sobre a definição de rede bayesiana). O agente Aprendiz pode decidir auxiliar o aluno (instruir, explicar, prover ajuda, etc.) utilizando o apoio pedagógico sugerido pelo agente Mediador.

O agente Mediador poderá enviar uma mensagem ao agente de Domínio ou ao agente de busca inteligente de materiais baseados na Web. Pode também sugerir a consulta a um diretório de FAQ (ou a um fórum de discussão) ou contatar o agente pessoal de outro usuário para pedir ajuda humana.

Resumindo, no ambiente AMPLIA, além dos humanos, existem os seguintes agentes artificiais que são essenciais à negociação pedagógica: o agente Aprendiz, o agente de Domínio e o agente Mediador.

Em termos da negociação pedagógica (FLORES et al., 2004), o agente Aprendiz representa o aluno, reunindo todas as evidências concretas sobre o estado de seu processo de aprendizagem, registrando o grau de *Autoconfiança* declarado pelo aluno e buscando inferir o nível de autonomia que esse aluno apresenta na realização da tarefa.

Os agentes de Domínio e Mediador, assim como o agente Aprendiz, compartilham o papel do professor. O agente de Domínio incorpora a base de conhecimentos sobre o tema a ser estudado e, portanto, tem o maior grau de confiança sobre o assunto (conhecimento do domínio). É ele o responsável pelos conteúdos e pela avaliação da *Qualidade da rede* do aluno. O agente Mediador incorpora as estratégias e táticas pedagógicas necessárias no processo de ensino-aprendizagem e decide quando e como utilizá-las. O agente Aprendiz faz o papel de observador das ações do aluno, tentando inferir a *Credibilidade* (expectativa) que o sistema tem sobre o aluno.

A comunicação interna do AMPLIA, bem como a sua comunicação com os agentes externos (particularmente os agentes UPA e SEARCH), é baseada em protocolos e linguagens FIPA, através do uso da biblioteca FACIL (GLUZ et al., 2003).

Os agentes UPA (NAKAYAMA et al., 2004) e SEARCH (NAKAYAMA et al., 2005) foram desenvolvidos num outro projeto do grupo de IA da UFRGS e fornecem serviços específicos de, respectivamente, registro e manutenção do perfil de um dado usuário e busca de informações na Internet relativas a um determinado tema de ensino, baseada na semântica desse tema. O UPA pode ser usado no AMPLIA quando é necessário tomar decisões sobre a forma de visualização de um determinado conteúdo de ensino com base nas preferências do usuário. O agente SEARCH pode ser usado pelo agente Mediador como recurso extra no processo de ensino-aprendizagem, para enriquecimento desse processo.

4.1.3 Comunicação no AMPLIA

Desde o início do projeto se tomou a decisão de empregar, dentro do possível, somente linguagens e protocolos padronizados para a comunicação entre os agentes do AMPLIA. A justificativa para essa decisão está diretamente relacionada ao objetivo maior de tornar os resultados do projeto, em termos de agentes, ontologias e métodos, disponíveis para uso fora do contexto/domínio inicial. Após uma análise das alternativas (GLUZ, 2002) (GLUZ et al., 2003) foi decidido que os padrões FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) seriam os mais apropriados para esse fim, levando em conta que esses protocolos já possuem um razoável grau de maturidade: estão se desenvolvendo desde 1997, sendo a versão 2003 das especificações FIPA a primeira a ser classificada realmente como padrão e não apenas como preliminar. Um problema, entretanto, foi detectado relativamente cedo no processo de modelagem da comunicação usando FIPA. Como não poderia deixar de ser, dada à natureza do AMPLIA, várias informações e conhecimentos compartilhados entre os agentes têm caráter probabilístico. Em termos de comunicação, esse problema se reduz ao fato de existirem conteúdos de cunho probabilístico dentro dos atos comunicativos sendo trocados entre os agentes. Além disso, esses conhecimentos probabilísticos também possuem um formato de representação (redes bayesianas) que, apesar de consagrado, não é suportado pela linguagem de conteúdo padrão FIPA-SL.

Assim, um primeiro passo para garantir que a modelagem da comunicação pudesse ser feita ainda dentro do *espírito* dos padrões FIPA, seria estendê-los o suficiente para resolver os problemas acima, porém sem perder a retro-compatibilidade, isto é, garantindo que essa extensão somente se diferenciaria dos padrões atuais no caso da incorporação de conteúdos probabilísticos, mas se manteria compatível (mesmo em termos da semântica formal), quando tal tipo de conteúdo não é usado. Dado às características de formalização da linguagem FIPA-ACL, essa extensão teria de ser feita

em dois passos: estender a linguagem de conteúdo FIPA-SL (com sua lógica modal equivalente) para incorporar probabilidades e, posteriormente, estender a linguagem de comunicação FIPA-ACL para incorporar atos comunicativos probabilísticos.

4.2 A organização interna dos agentes

O ambiente AMPLIA usa uma organização genérica para a construção de cada agente. Nessa organização, o projeto de cada agente está dividido em três diferentes níveis: nível de decisão, nível operacional e nível de interação (figura 4.2).

Os três níveis compõem o plano de construção de cada agente. Para cada nível, existem funcionalidades específicas que devem ser modeladas e implementadas (módulos, funções, processos ou componentes de software).

- **Nível de decisão:** modela os processos de decisão do agente em relação às evidências e informações coletadas sobre os outros agentes e também sobre o meio externo.
- **Nível operacional:** nível que transforma as decisões tomadas no nível acima, em ações e operações concretas sobre o meio ou sobre outros agentes. Este nível também é responsável em juntar/organizar as evidências e informações necessárias para a tomada de decisões.
- **Nível de interação:** nível responsável pela interação concreta dos agentes com os outros agentes e com o meio externo. É este nível que é responsável pelo envio/recepção de mensagens entre os agentes e também pela interação com os usuários (“meio externo”).



Figura.4.2: A arquitetura interna dos agentes que compõem o ambiente AMPLIA

Esses três níveis podem ser todos agrupados numa espécie de *plano* de construção ou de funcionamento do agente. Para cada nível correspondem entidades concretas que devem ser modeladas e implementadas em cada agente (módulos, funções, processos ou componentes de software).

Por outro lado, para tratar das questões *sociais* do SMA, é necessário que haja uma espécie de meio de informações e conhecimento compartilhado entre os diversos agentes. Esse *meio* se traduz numa ontologia compartilhada por todos os agentes, que define o significado das mensagens, informações e decisões realizadas por cada agente. Tal ontologia não é, pelo menos em nossa organização, transformada num módulo ou componente interno específico de cada agente, mas delinea como eles devem ser

projetados e construídos. Por exemplo, ao atribuir significado e formato a uma mensagem específica, o plano ontológico:

- determina a maneira como o nível de comunicação deve ser construído (formato de mensagens, protocolos de interação, etc.);
- direciona aspectos do nível operacional (que informações devem ser extraídas/classificadas das mensagens, que ações correspondentes devem ser tomadas, etc.); e
- baseado nas informações trazidas por uma mensagem e seu conteúdo, desencadeia um processo de decisão sobre o significado dessas informações.

No AMPLIA, o processo de decisão é usualmente modelado através de um processo de inferência probabilística. Para tanto, é usado o motor de inferência do SEAMED (FLORES et al., 2001) acoplado a uma rede probabilística específica para cada tipo de agente. No nível operacional cada agente implementa um conjunto de módulos ou componentes de software distintos, relacionados às tarefas específicas do agente. No nível de interação foi criado um módulo básico de comunicação (o ComCLIENT) que é customizado para cada agente em função das suas necessidades específicas de comunicação (que mensagens o agente utiliza).

Além disso, todas as interações com os usuários ocorrem por meio de duas ferramentas: o Editor Gráfico Probabilístico, usado pelos especialistas, e o Editor Gráfico Colaborativo, usado pelos alunos e que permite a construção colaborativa de redes bayesianas.

4.2.1 O Agente Aprendiz

A função do nível operacional desse agente é observar as ações dos alunos no editor colaborativo. O processo de construção da rede pode ser acompanhado em todos os seus detalhes, pois as ações do aluno estão registradas (*log*). Assim, nodo a nodo e arco a arco, a maneira como o aluno seleciona as variáveis, as relações entre elas e como constrói sua hipótese, a solicitação de ajuda, bem como o uso ou não de estratégias oferecidas pelo Agente Mediador, são analisados pelo Agente Aprendiz com o propósito de avaliar o nível de tomada de consciência deste aluno. Exemplos de *log* são apresentados na figura 4.3.

O *log* com as observações é manipulado matematicamente, tornando esse resultado uma evidência a ser propagada por uma rede bayesiana que constitui o nível de decisão desse agente. O objetivo do nível de decisão é inferir probabilisticamente – como um professor procura fazer – os níveis de tomada de consciência formulados por Piaget (1977), através da observação das ações do aluno, e que estão representados no AMPLIA por níveis de Credibilidade.

O agente Aprendiz observa os procedimentos do aluno, detectando situações de indecisão no momento de escolher os nodos adequados, repetição de tentativas em adequar um nodo a uma relação, construção de um novo modelo menos eficiente que o anterior e solicitação de ajuda, como critérios para inferir a *Credibilidade* atribuída pelo sistema ao aluno, independentemente da *Auto-confiança* que o aluno declara. Para efeitos de implantação, são definidos três graus de *Credibilidade*.

```

AMPLIA LOG - Sessao iniciada em 15/07/2004 - 18:21:53
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:43:30) : B3_B4
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:43:57) : Rx_Tórax_Congestao_Pulmonar
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:44:11) : Rx_Torax_Cardiomegalia
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:45:26) : Dispnea_Pequenos_Esforcicos
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:46:11) : Fadiga
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:47:26) : Fadiga
EXCLUSÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:47:30) : Fadiga
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:47:47) : ICC
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:48:07) DE Fadiga ATE ICC
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:48:09) DE Dispnea_Pequenos_Esforcicos ATE ICC
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:48:11) DE B3_B4 ATE ICC
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:48:12) DE Rx_Tórax_Congestao_Pulmonar ATE ICC
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:48:14) DE Rx_Torax_Cardiomegalia ATE ICC
EXCLUSÃO SETA (15/07/2004 - 18:49:05) DE Fadiga ATE ICC
EXCLUSÃO SETA (15/07/2004 - 18:49:26) DE B3_B4 ATE ICC
EXCLUSÃO SETA (15/07/2004 - 18:49:47) DE Dispnea_Pequenos_Esforcicos ATE ICC
EXCLUSÃO SETA (15/07/2004 - 18:50:17) DE Rx_Torax_Cardiomegalia ATE ICC
EXCLUSÃO SETA (15/07/2004 - 18:50:23) DE Rx_Tórax_Congestao_Pulmonar ATE ICC
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:51:11) DE ICC ATE Rx_Tórax_Congestao_Pulmonar
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:51:13) DE ICC ATE B3_B4
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:51:15) DE ICC ATE Rx_Torax_Cardiomegalia
INSERÇÃO NODO SIMBÓLICO (15/07/2004 - 18:52:34) : Classe III
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:52:43) DE Fadiga ATE Classe III
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:52:45) DE Dispnea_Pequenos_Esforcicos ATE Classe III
INSERÇÃO SETA (15/07/2004 - 18:52:53) DE ICC ATE Classe III
AMPLIA LOG - Sessao finalizada em 15/07/2004 - 18:53:32

```

Figura 4.3: Exemplo de *log* de alunos no AMPLIA

- Baixo Crédito: atribuído nos casos de indecisão ou insegurança, por exemplo, quando o aluno constantemente apaga ou refaz os seus nodos.
- Médio Crédito: quando o aluno recorre de maneira espontânea à ajuda do sistema, ou quando constrói um modelo de rede menos eficiente que o seu modelo anterior.
- Alto Crédito: quando o aluno constrói o seu modelo de maneira autônoma, recorrendo inclusive a recursos fora do ambiente, como por exemplo, mecanismos de busca na Web.

A figura 4.4 apresenta a estrutura topológica da rede bayesiana que modela o nível de decisão do agente Aprendiz. Esta rede consiste de diferentes tipos de variáveis aleatórias. Os nodos vazios correspondem às variáveis inferidas a partir do *log* das ações do aluno e matematicamente calculadas pelas equações (1) e (2), respectivamente, abaixo apresentadas. Os nodos cinza correspondem às variáveis diretamente observadas, cujas probabilidades estão diretamente relacionadas à ausência ou à presença destes nodos na rede modelada pelo aluno. Os nodos tracejados são variáveis que ainda serão implantadas e que representam o uso de recursos de ajuda, busca de material extra e uso de estratégias.

As informações dos nodos são obtidas a partir da análise do *log* e tratadas matematicamente, possibilitando que o agente Aprendiz possa inferir um valor apropriado para um parâmetro denominado *Credibilidade* (nodo *Credibility*).

A variável aleatória *Nodes* tem sua probabilidade determinada pela proporção dos nodos pertencentes ao caso (modelo do especialista) e que estão no modelo do aluno, multiplicada pela proporção do número de nodos totais do modelo do aluno e a quantidade de movimentos (colocação e remoção) realizados para a colocação desses nodos, conforme equação (1). Entendemos que as duas probabilidades da equação (1) são independentes e seu produto gera a probabilidade de *Nodes*. Da mesma forma, a equação (2) calcula alterações realizadas nos arcos, ou seja, as probabilidades do nodo *Arches* são determinadas pelo número de arcos que compõem o modelo do aluno em

relação ao número de movimentos (colocação e remoção) realizados para a colocação desses arcos.

$$(1) P(\text{Nodos}) = \frac{\text{Total_Nodos_Válidos_Modelo}}{\text{Total_Nodos_Caso}} \times \frac{\text{Total_Nodos_Modelo}}{\text{Total_Movimentos_Nodos}}$$

$$(2) P(\text{Arcos}) = \frac{\text{Total_Arcos_Modelo}}{\text{Total_Movimentos_Arcos}}$$

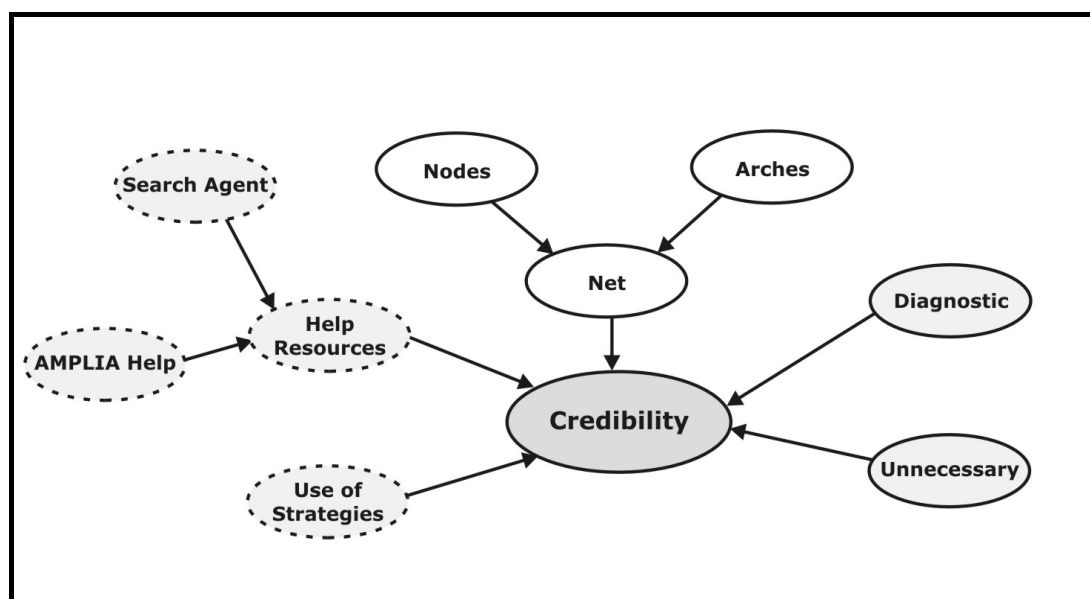


Figura 4.4: Rede Bayesiana do agente Aprendiz.

Os valores $P(\text{Nodos})$ e $P(\text{Arcos})$ determinam a probabilidade de alterações durante o processo de construção da rede: muita alteração (para valores entre 0,01 e 0,5), algumas alterações (entre 0,51 e 0,70) e poucas alterações (para valores acima de 0,70). A análise do *log* também é usada para detectar a presença de nodos diagnósticos e desnecessários.

É importante salientar que os ciclos de interação entre o aluno e o ambiente são modelados num processo mais abstrato denominado por *Negociação Pedagógica*, onde o principal objetivo a ser alcançado é o estabelecimento e o reforço de um alto grau de confiança entre os participantes no processo.

Não se trata de uma confiança genérica, mas sim bem específica e objetiva, relativa às habilidades alcançadas e demonstradas pelo aluno em relação ao domínio de aprendizagem. No presente trabalho, essa análise é levada adiante, no sentido que o papel do professor é desempenhado por três agentes inteligentes, dos quais o agente Aprendiz é responsável por inferir o conhecimento (a “visão” ou “modelo”) que o professor tem sobre o aluno. Assim, um importante componente da confiança a ser estabelecida/reforçada num dado processo de aprendizagem, é o grau de crença numa ação autônoma do aluno, ou seja, o quanto se acredita que as ações do aluno são mais ou menos orientadas por suas hipóteses.

A análise delineada neste trabalho, que aplica a teoria construtivista e métodos probabilísticos quantitativos para estabelecer a *Credibilidade* na autonomia do aluno, como um componente da confiança a ser alcançada num processo de aprendizagem, não tem um paralelo exato em pesquisas atuais sobre pedagogia. Na verdade, os estudos que

mais se aproximam desta abordagem são relativos à identificação, classificação e formalização da noção social de confiança em sistemas multiagente (CASTELFRANCHI; FALCONE, 1998) (FISCHER; GHIDINI, 2002). Um trabalho recente de Castelfranchi et al. (2003) apresenta, além da necessidade de se levar em conta a noção de probabilidade subjetiva na compreensão do conceito de confiança entre agentes, as várias dificuldades encontradas num processo genérico de formação desse conceito a partir de fontes distintas de informação. O projeto AMPLIA aprofunda a reflexão com base em fundamentos epistemológicos que sustentam as decisões de pesquisa. Em particular, ao se concentrar o trabalho num domínio específico (aprendizagem na área médica) e estipular uma definição precisa e verificável de confiança (probabilidade de que uma dada ação seja efetuada), foi possível refinar essa definição em componentes determinados seguindo diretamente a arquitetura de agentes, ou seja, definir um processo de inferência que permita ao agente Aprendiz identificar o grau de *Credibilidade* na autonomia das ações de um aluno.

A justificativa empírica para tais formulações está diretamente baseada na análise qualitativa que um agente humano (professor) poderia empreender sobre um determinado modelo gerado pelo aluno, incluindo o registro de atividades desse aluno para alcançar tal modelo. É importante salientar a razoável congruência desses resultados quantitativos com os resultados da análise qualitativa obtidos com a avaliação das redes bayesianas modeladas por um grupo de alunos da UFPel após a proposição de um estudo de caso específico (SEIXAS et al., 2004). A descrição do experimento realizado em Pelotas e conseqüente análise empírica realizada estão registradas no Anexo A desta tese.

Outras variáveis estão sendo previstas com o objetivo de refinar ainda mais o processo de inferência da tomada de consciência do aluno: o uso de ajuda ou de pesquisa espontânea sobre um determinado tópico e o uso das estratégias sugeridas pelo agente Mediador.

O agente Aprendiz interage com o aluno por meio de um *editor gráfico colaborativo*. Esse editor provê uma interface simples e amigável para criar e editar redes bayesianas. O gráfico é automaticamente configurado para o caso de estudo que será trabalhado pelo aluno, apresentando apenas informações relevantes ao caso. O editor também permite que diversos usuários iniciem o trabalho de forma colaborativa e cooperativa sobre um caso específico, manipulando automaticamente a consistência e a comunicação na edição distribuída desse caso.

O agente Aprendiz comunica-se com o agente de Domínio para receber o caso de estudo e enviar o modelo do aluno. Faz também parte da comunicação a informação do nível de *Autoconfiança* do aluno e o recebimento das estratégias pedagógicas, ambos realizados com o agente Mediador.

4.2.2 O Agente de Domínio

O papel desse agente é avaliar o modelo bayesiano construído pelos alunos quanto à sua viabilidade (se o modelo corresponde uma rede bayesiana), corretude (se não existem nodos desnecessários ou excludentes), completude (se não faltam nodos ou arcos no modelo) e eficácia (qual é o seu comportamento diagnóstico diante de uma base de dados de casos médicos reais). Para esse fim, o agente de Domínio realiza dois tipos de análises: a avaliação Qualitativa e a avaliação Quantitativa.

Os diversos processos de comparação usados nas avaliações Qualitativa e Quantitativa compõem o nível operacional do agente de Domínio. A análise Qualitativa está baseada em um processo de comparação entre redes bayesianas, equivalente ao problema de isomorfismo entre subgrafos. Esse problema é classificado como um problema NP-completo (LEWIS; PAPADIMITRIOU, 1998); portanto, é necessário usar informações heurísticas, baseadas na semântica da rede bayesiana, para reduzir o espaço de busca (reduzindo as possibilidades de comparação) e, assim, tornar o algoritmo de comparação eficiente. Para esse fim, algumas restrições são definidas no processo de construção do modelo do aluno, que não afetam o processo de ensino-aprendizagem construtivista, que é a base pedagógica de AMPLIA. Essas heurísticas são: (1) a utilização de uma lista de variáveis específica para cada caso de estudo; (2) o tipo de inferência que se espera que o aluno realize, e (3) a simplificação da rede do especialista direcionada para o estudo de caso em questão.

A lista de variáveis e o tipo de inferência esperada pelo aluno (inferência diagnóstica) facilitam o processo de comparação, pois fornecem os pontos iniciais e finais para a comparação, efetivamente evitando a necessidade de se confrontar cada um dos nodos (e arcos) do modelo do aluno com todos os nodos (e arcos) do modelo do especialista.

A construção da lista utiliza como critérios o nome do nodo e sua classificação quanto à sua função e importância no modelo utilizado. A tabela 4.1 apresenta essa classificação.

Tabela 4.1: Classificação dos Nodos

Diagnóstico	Deve estar sempre presente
<i>Trigger</i>	Quando presente, seleciona o diagnóstico como solução potencial
Essencial	Deve estar presente para assegurar a identificação do diagnóstico
Complementar	Sua presença aumenta a probabilidade do diagnóstico
Excludente	Sua presença diminui a probabilidade de confirmação do diagnóstico
Desnecessário	Não é necessário para a confirmação do diagnóstico

Apesar da rede bayesiana permitir inferências do tipo causal (parte-se das causas, consideradas como a evidência disponível, para os efeitos), diagnóstico (dos efeitos, i.e., evidência, para as causas), intercausal (discrimina entre causas de um efeito comum) e misto (combinação de dois ou mais tipos acima), no AMPLIA, considera-se apenas o tipo diagnóstico de inferência, por ser esse o modelo de raciocínio médico. O tipo de inferência esperado também tem o efeito de redução do espaço de busca, porque fornece uma espécie de *ponto de chegada* que pode ser usado para facilitar a comparação.

Sendo assim, os passos que formam a avaliação qualitativa e seus respectivos algoritmos são:

Simplificação do modelo bayesiano do especialista: cada estudo de caso possui seus diagnósticos específicos que podem constituir-se como parte da modelagem bayesiana do especialista para aquele domínio. O agente de domínio simplifica esse modelo rede, excluindo os nodos diagnósticos que não se aplicam ao caso e, conseqüentemente, todos os nodos relacionados apenas a esses diagnósticos, gerando uma rede simplificada do especialista. A figura 4.5 exemplifica a simplificação de uma rede bayesiana que representa o diagnóstico da *Dengue*. O caso de estudo oferecido ao aluno confirma o diagnóstico de *Dengue Clássica* e, dessa forma, o agente de Domínio

simplifica sua rede mantendo apenas os nodos que estão circundados pela linha tracejada.

para cada nodo da rede completa i faça
 se (Nodo(i) está relacionado ao diagnóstico) OU (Nodo(i) está relacionado a algum nodo relacionado ao diagnóstico)
 então Marca nodo(i) para ser apagado;
 apaga nodo(i);

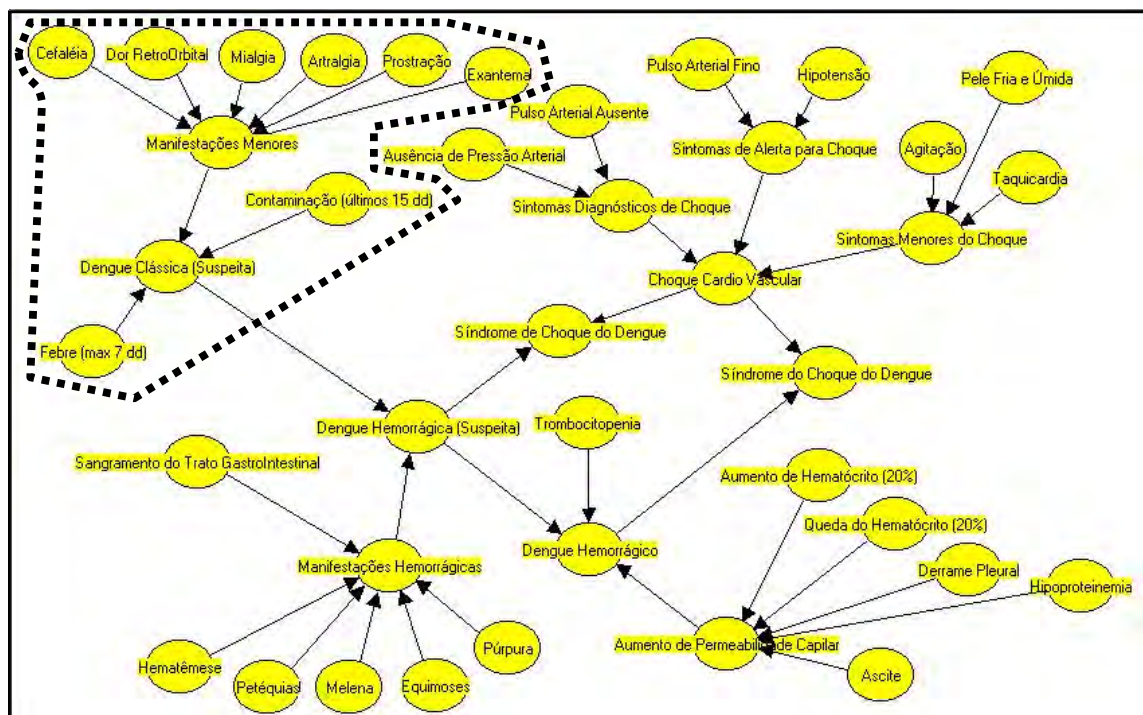


Figura 4.5: Exemplo de simplificação do modelo bayesiano do especialista

Análise das relações: identifica as relações erradas, inversas e faltantes no modelo bayesiano do aluno. O algoritmo percorre cada relação do modelo bayesiano do especialista e as procura no do aluno para encontrar as faltantes, fazendo o inverso para encontrar as relações erradas. A figura 4.6 mostra os resultados da análise das relações em uma avaliação Qualitativa.

```
// inverte as redes passadas por parâmetro para verificar as relações
sobrando
Função RelaçõesDiferentes (RedeEspecialista, RedeAluno);
{
  para cada nodo(i) de RedeEspecialista faça
  {
    achou := false;
    para cada nodo(j) de RedeAluno faça
      se nodo(i) = nodo(j) // o nodo existe nas duas redes
        então achou := true;
    se achou = true
      então
      {
        para cada relação(j) de nodo(i) de RedeEspecialista faça
          achou := false;
          para cada relação(k) de nodo(i) de RedeAluno faça
```



```

    se relação(j) = relação(k) // relação existe em RedeAluno
    então achou := true;
    se achou = true
    então relação(j) está faltando;
}
senão // como o nodo não existe em RedeAluno, todas as relações
ligadas a ele estão faltando
    Todas as relações do nodo(i) estão erradas;
}

```

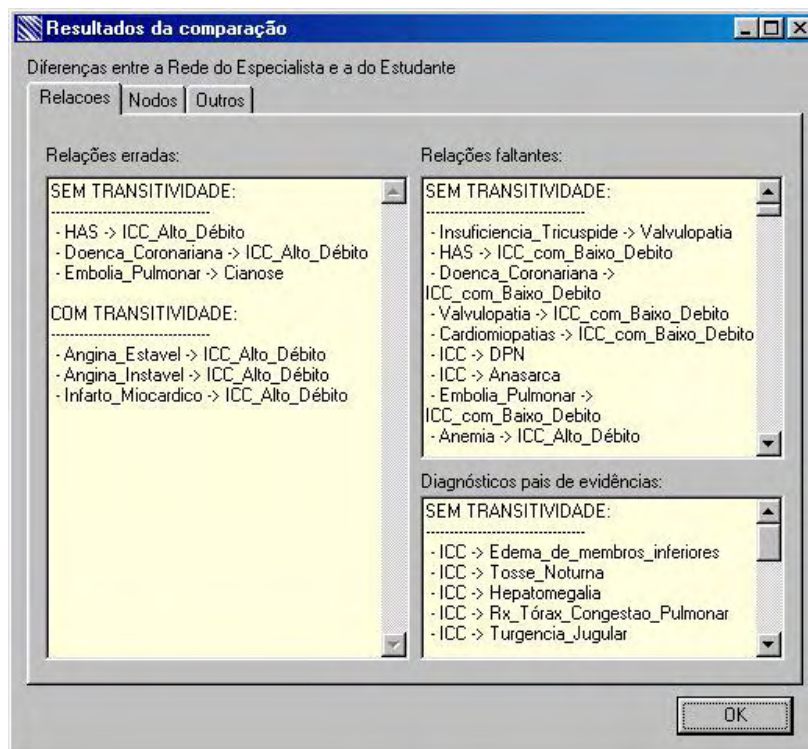


Figura 4.6: Resultado da análise das relações

Análise dos nodos: identifica quais nodos estão faltando no modelo bayesiano do aluno e classifica-os quanto à sua importância: diagnóstico, *trigger*, essencial, complementar ou excludente. Também procura por nodos desnecessários presentes no modelo do aluno. A figura 4.7 mostra os resultados da análise dos nodos em uma avaliação Qualitativa.

```

// verifica quais nodos bogus estão presentes na rede do aluno:
para cada nodo(i) de RedeAluno faça
    para cada nodo(j) da lista de nodos desnecessários de
RedeEspecialista faça
        se nodo(i) = nodo(j)
        então
            adiciona nodo(i) na lista de desnecessários presentes;

// vai buscar cada nodo do especialista na rede do aluno, e inseri-lo
na lista adequada se não for encontrado:
para cada nodo(i) de RedeEspecialista faça
{
    achou := false;
    para cada nodo(j) de RedeAluno faça
        se nodo(i) = nodo(j) // nodo presente nas duas redes

```

```

    achou := true;
    se achou = false // insere nodo ausente na RedeAluno na lista
    apropriada
    entao
    {
        caso nodo(i):
        Diagnóstico: adiciona nodo(i) na lista de diagnósticos ausentes;
        Trigger: adiciona nodo(i) na lista de triggers ausentes;
        Essencial: adiciona nodo(i) na lista de essenciais ausentes;
        Complementar: adiciona nodo(i) na lista de complementares
        ausentes;
    }
}

```

A avaliação Quantitativa submete o modelo bayesiano do aluno a uma base de dados de casos reais para avaliar a sua performance. Ou seja, ela é responsável pela análise dos potenciais de crença do modelo bayesiano do aluno, pois mesmo sendo o modelo do aluno topologicamente semelhante ao do especialista, esse pode não fornecer os resultados esperados para um determinado caso em estudo.

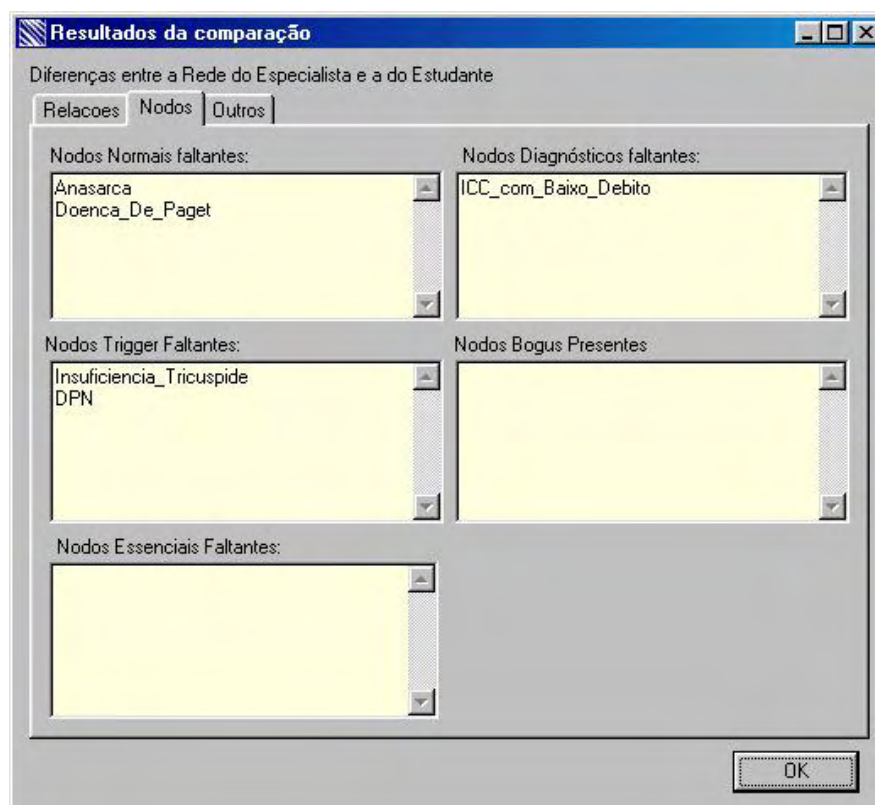


Figura 4.7: Resultado da análise dos nodos

Para verificar se isso ocorre, o agente de Domínio não se limita a apenas analisar a estrutura da rede: ele também analisa a distribuição de probabilidades entre as variáveis, isto é, se essa rede realmente pode, com os achados (sintomas, sinais, exames, etc.) fornecidos, obter como resposta o diagnóstico esperado. Para isso, o agente de Domínio tem uma base de dados com várias ocorrências reais do caso de estudo em questão. Supõe-se que essa base de dados estará sendo constantemente atualizada, ou seja, que novas ocorrências reais sejam inseridas na referida base de dados. Ele propaga esses achados (evidências) de cada ocorrência no modelo do aluno e no do especialista e obtém um diagnóstico final. Esse diagnóstico é comparado com o da ocorrência dada:

ao final da análise dos diagnósticos de todas as ocorrências, obtêm-se os percentuais de casos onde o modelo do aluno e o modelo do especialista obtiveram resultados iguais ao da base de dados. Esses percentuais são enviados para o agente Mediador para que apresente ao aluno também para que decida qual a melhor estratégia pedagógica a ser utilizada.

Se o percentual de acertos do aluno for considerado baixo em relação ao modelo do especialista, é provável que o agente Mediador dará continuidade ao processo de negociação pedagógica, argumentando quanto a sua necessidade de buscar a melhoria da performance (eficácia) de seu modelo. Caso contrário, ou seja, se o percentual de acertos do aluno for semelhante ou maior do que o do modelo do especialista, o agente Mediador poderá dar por encerrado o processo de negociação, sugerindo ao especialista humano uma análise criteriosa do modelo bayesiano do aluno, visando sua possível incorporação à base de conhecimentos do agente de Domínio. A figura 4.8 mostra o resultado final de uma avaliação Quantitativa.

Abaixo é apresentado o algoritmo que realiza a avaliação Quantitativa:

```

função avaliaçãoQuantitativa(redeEspecialista, redeAluno, limiar)
{
  para cada casoreal(i) faça
  {
    // seta as evidências de cada nodo do especialista:
    para cada nodo(j) de redeEspecialista faça // cada nodo(j) é uma
evidência
    {
      se nodo(j) não é diagnóstico
      então determinaProb(nodo_evidencia(j),casoreal(i); // determina
a probabilidade do nodo(j) de acordo com o valor especificado na base
de dados para 100% (presente), 0% (ausente) ou não muda (no caso de
evidência não declarada neste caso)
    }
    propagaEvidencias(redeEspecialista) // propaga as evidências para
que cheguem até os diagnósticos

    // seta as evidências de cada nodo do aluno:
    para cada nodo(j) de redeAluno faça // cada nodo(j) é uma
evidência
    {
      se (nodo(j) não é diagnóstico) E (nodo(j) não é desnecessário)
      então determinaProb(nodo_evidencia(j),casoreal(i);    }
    }
    propagaEvidencias(redeAluno)

    // vai verificar se os diagnósticos deram resultado igual ao da
base de dados
    diagsEspecialista := 0; // contadores de diagnósticos que deram
certo
    diagsAluno := 0;
    para cada nodo(j) de redeEspecialista
      se nodo(j) é diagnóstico
      então
      {
        se ((probabilidade de nodo(j) > limiar) E
(obtemProb(nodo(j),casoReal(i) = 100%) // probabilidade do nodo
diagnóstico j acima do limiar e a base confirma o diagnóstico
        OU

```

```

        ((probabilidade de nodo(j) < limiar) E
(obtemProb(nodo(j),casoReal(i) = 0%) // probabilidade do nodo
diagnóstico j abaixo do limiar e a base nega o diagnóstico
        então
            diagsEspecialista := diagsEspecialista + 1; // nodo
diagnóstico j passou na avaliação quantitativa para o caso real i
    }

// mesmo código para a rede do aluno
para cada nodo(j) de redeAluno
se nodo(j) é diagnóstico
então
{
se ((probabilidade de nodo(j) > limiar) E
(obtemProb(nodo(j),casoReal(i) = 100%)
OU
((probabilidade de nodo(j) < limiar) E
(obtemProb(nodo(j),casoReal(i) = 0%)
então
diagsAluno := diagsAluno + 1;
}
}
performanceEspecialista := diagsEspecialista / (nº de diagnósticos
de redeEspecialista * nº de casos reais);
performanceAluno := diagsAluno / (nº de diagnósticos de
redeEspecialista * nº de casos reais);
}

```

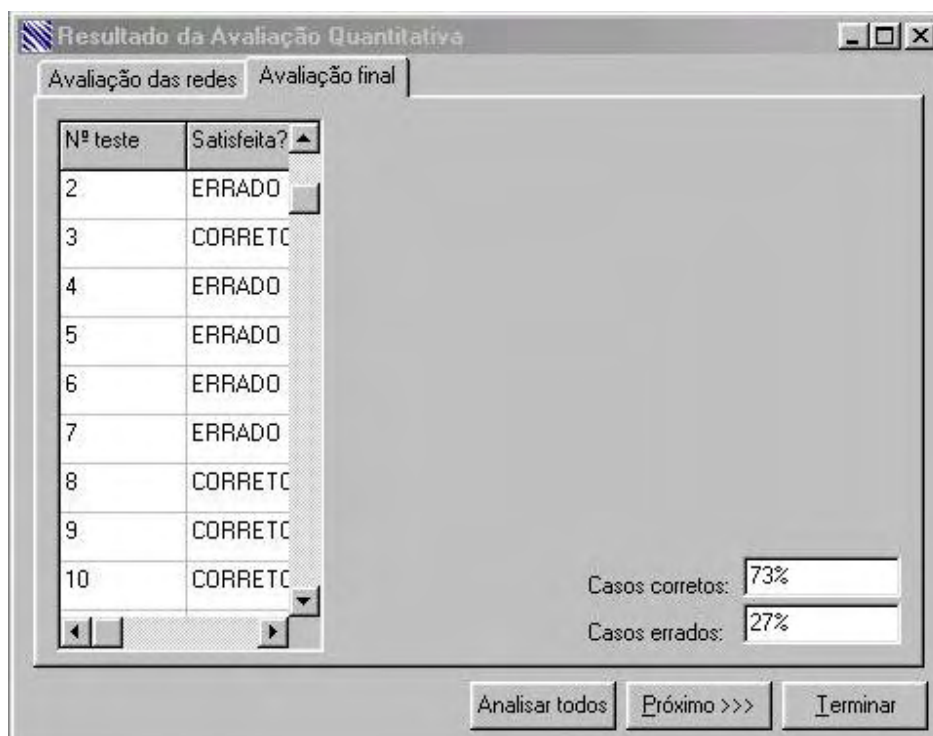


Figura 4.8: Resultado final de uma avaliação quantitativa

O nível de decisão do agente de Domínio é relativamente simples: baseado nos resultados obtidos na avaliação qualitativa, que avalia o modelo bayesiano do aluno

quanto à viabilidade, corretude e completude, decide se o seu modelo bayesiano está apto para ser submetido à avaliação quantitativa. Os agentes consideram que esses resultados são definitivos em termos de análise qualitativa, isto é, não existe nenhuma autonomia em renegociar essa decisão ou mudar o modelo bayesiano do especialista se tal decisão é questionada (pelo aluno, por exemplo). Contudo, se isso realmente acontece, o agente de Domínio tem a autonomia de realizar uma avaliação quantitativa e medir a eficácia do modelo em relação à base de dados de casos reais.

A única forma de interação entre esse agente com algum usuário humano (o especialista) é através do editor gráfico de redes bayesianas para a construção de seu modelo bayesiano. Esse editor também permite ao especialista modificar a base de dados das soluções padrões para os casos médicos selecionados. Todos os outros tipos de interações ocorrem entre o agente de Domínio e os outros agentes do sistema. Eles são implementados através de atos comunicativos FIPA. Essa comunicação é incorporada no módulo COMClient, customizado de acordo com as interações específicas entre o agente de Domínio e o agente Mediador ou agente Aprendiz.

Para o agente de Domínio, deve haver uma comunicação com o agente Aprendiz e com o agente Mediador. Através da primeira comunicação, o agente de Domínio envia um estudo de caso para o aluno e dele recebe o modelo de rede construída, através do agente Aprendiz. A comunicação com o agente Mediador é no sentido de informação sobre o resultado da avaliação da rede recebida do aluno.

4.2.3 O Agente Mediador

O nível de decisão do agente Mediador é responsável pela seleção de estratégias durante o processo de negociação pedagógica. Ele utiliza como parâmetros a avaliação da rede, realizada pelo agente do Domínio (*Qualidade da rede*), o grau de confiança declarado pelo aluno (*Autoconfiança*) e a credibilidade resultante da inferência realizada pelo agente Aprendiz, a partir da análise da evolução da rede modelada pelo aluno e das ações por ele tomadas, diante das estratégias recebidas do agente Mediador, ao longo do processo (*Credibilidade*).

Com o intuito de permitir a representação dessas relações probabilísticas de dependência entre esses parâmetros advindos dos outros agentes e devido à necessidade de alterações frequentes para incorporar as constantes adequações ao processo ensino-aprendizagem, a unidade de tomada de decisão do agente Mediador baseia-se na avaliação de um diagrama de influência (Seção 2.2.1). A função de utilidade define a tática que é utilizada pelo agente Mediador com o aluno. A figura 4.9 apresenta o modelo do diagrama de influências do agente Mediador.

O nodo de probabilidade *prob_princi* representa as informações probabilísticas recebidas do agente de Domínio sobre a frequência dos problemas encontrados no modelo bayesiano do aluno. Esse nodo é formado pelos seguintes estados (figura 4.9): rede cíclica (*cíclica*), falta de nodos trigger (*f_trigger*), falta de nodos essenciais (*f_essenciais*), falta de nodos complementares (*f_complementares*), presença de nodos desnecessários (*no_desneces*) (variáveis alheias ao estudo de caso, disponibilizadas intencionalmente como fator perturbador para a modelagem), ausência de problemas (*sem problemas*), presença de nodos desconexos (*no_desconexo*), presença de nodos excludentes errados (*no_exclud_errado*), presença de nodos diagnósticos apontando para outro tipo de nodo (*diagnosti_pai*), rede sem nodo diagnóstico (*s_diagnostico*), e falta de arcos (*f_arcos*). Partindo da pressuposição de que a confiança inicial do

professor em relação às capacidades do aluno em resolver um problema é baixa, foram estabelecidos os valores iniciais para seus estados conforme a figura 4.10.

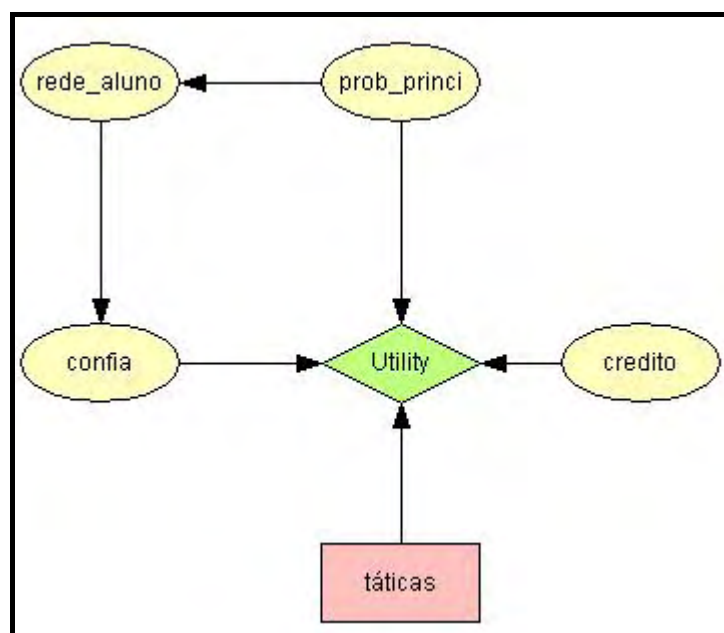


Figura 4:9: Diagrama de influência para a seleção das estratégias

As probabilidades iniciais desse nodo representam a crença probabilística do professor sobre as capacidades cognitivas do aluno. Analisando a figura acima, observa-se que as expectativas iniciais do professor perante as ações do aluno são as piores possíveis, ou seja, ele acredita que a probabilidade que o aluno tem de errar na construção de seu modelo bayesiano (por exemplo, *cíclica* = 0,255319 e *no_desconexo* = 0,255319) é bem maior do que a probabilidade de acertar (sem problemas = 0,00093615).

● prob_princi (prob_princi)		
■	0.255319	ciclica
	0.0335925	f_trigger
	0.0335925	f_essenciais
	0.0335925	f_complementares
	0.022395	no_desneces
	0.00093615	sem problemas
■	0.255319	no_desconexo
	0.0447899	no_exclud_errado
■	0.140146	diagnosti_pai
■	0.171892	s_diagnostico
	0.00842531	f_arcos

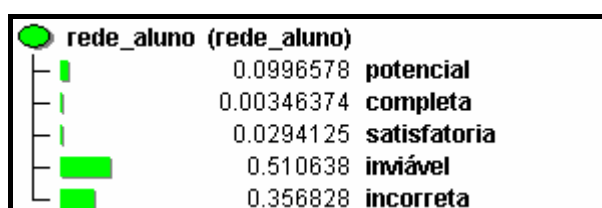
Figura 4.10: Probabilidades iniciais do nodo Problema Principal (*prob_princi*)

O nodo de probabilidade *rede_aluno* possui uma relação casual direta com o nodo *prob_princi*, pois este nodo classifica a rede do aluno, conforme descrito na tabela 4.2 abaixo.

Tabela 4.2: Classificação da rede

Rede	Parâmetros
Inviável	Rede apresenta ciclos ou nós não orientados
Incorreta	Sem diagnóstico, diagnóstico justifica as causas, presença de nó excludente
Potencial	Ausência de alguns nós importantes e presença de nós desnecessários
Satisfatória	Diferente do modelo especialista, mas satisfaz o estudo de caso proposto
Completa	Rede topologicamente idêntica ao modelo construído pelo especialista

As probabilidades iniciais deste nodo também refletem a baixa confiança que o professor possui nas capacidades do aluno. Conforme a Figura 4.11, a probabilidade do aluno construir um modelo bayesiano inviável é muito maior do que a de construir um modelo completo ($inviável = 0,510638$, $completa = 0,00346374$).

Figura 4.11: Probabilidades iniciais do nodo Rede do Aluno (*rede_aluno*)

Os demais nodos de probabilidade, *credito* e *confia*, correspondem, respectivamente, à *Credibilidade* (*credito*) inferida pelo agente Aprendiz e à *Autoconfiança* (*confia*) declarada pelo aluno. Ambos os nodos possuem três estados correspondendo aos níveis de confiança: *alta*, *média* e *baixa*. Entretanto, o nodo *confia* possui uma relação causal direta com o nodo *rede_aluno*. Isso se deve às análises empíricas realizadas pela observação de alunos em processo de construção da rede. A figura 4.12 mostra a tabela de probabilidades condicionais do nodo *confia*. Observa-se que, quando o modelo bayesiano é classificado como potencial, a probabilidade do aluno se declarar com baixa confiança é bem maior. Por outro lado, quando a rede do aluno é classificada como satisfatória ou completa, sua autoconfiança tende a aumentar. Nas demais classificações de rede, o aluno mostrou-se indiferente quanto à confiança.

rede_aluno	potencial	completa	satisfatoria	inviavel	incorreta
baixa	0.705882	0.01	0.1	0.34	0.333333
media	0.0735294	0.01	0.01	0.33	0.333333
alta	0.220588	0.98	0.89	0.33	0.333333

Figura 4.12: Tabela de probabilidades condicionais do nodo *confia*

O nodo de decisão *táticas* corresponde às táticas pedagógicas do AMPLIA que são: *correção*, *indicação*, *sugestão*, *experimentação*, *busca*, *reflexão*, *exemplos*, *problematização*, *discussão*, *demonstração*, *hipóteses*. As estratégias e táticas definidas para o ambiente AMPLIA estão baseadas no trabalho de Liliana Cubo Severino (2002), no qual são abordadas as estratégias retóricas para a interação com alunos universitários.

Por último, o nodo de utilidade *utility* seleciona tática, baseado em todos os parâmetros envolvidos na *negociação pedagógica*. São eles: *Credibilidade*, que representa o grau de autonomia apresentado pelo aluno através de suas ações, determinando um maior ou menor nível de restrição ou liberdade de ação; *Autoconfiança*, que representa o nível de confiança que o aluno declara sobre o seu modelo bayesiano; e a *Qualidade da rede*, que corresponde à lista de problemas encontrados no modelo bayesiano do aluno. Pode-se dizer que a função de utilidade tem por objetivo maximizar os ganhos do agente Mediador, que é o de apoiar o aluno em seu processo de aprendizagem (construção de seu conhecimento).

As táticas estão distribuídas entre as seguintes estratégias utilizadas pelo AMPLIA:

Orientação: Prevê uma abordagem direta, que tem por objetivo corrigir problemas graves no modelo bayesiano e aumentar a confiança do aluno no agente de Domínio. Assim, seguindo a orientação do agente Mediador, o aluno verifica a existência destes problemas e pode eliminá-los, sem maiores dificuldades na negociação. Será utilizada quando a rede do aluno for classificada como inviável, independente do grau de confiança declarado pelo aluno, variando apenas a tática (intensidade da *condução orientadora*). Essas variações incluem desde uma simples mensagem de alerta, uma sugestão para a revisão de conteúdos básicos, até uma indicação direta do problema.

Contestação: Pretende motivar o aluno a reavaliar o seu modelo, através da demonstração das inconsistências existentes como, por exemplo, a existência de nodos excludentes. (Neste caso, a rede está incorreta, pois aquele nodo indica que o diagnóstico é improvável). As argumentações devem variar de acordo com a declaração de confiança do aluno, ou seja, com a sua disposição para a negociação.

Se o aluno declarou ter uma alta confiança em seu modelo, o agente Mediador informa a existência de um nodo excludente, solicitando que o aluno reflita sobre elas e altere o nodo correspondente, ou sugere consulta a materiais que esclareçam a condição do nodo excludente.

Em caso de média confiança, também é considerada a credibilidade, assim, se esta for baixa, o agente Mediador apresenta informações sobre o nodo excludente (pois o aluno tem pouca autonomia); se a credibilidade for média, o agente Mediador informa que o modelo contém nodos cuja presença diminui a probabilidade do diagnóstico e sugere que o aluno os encontre clicando sobre os nodos.

Se a confiança declarada pelo aluno for baixa (total disponibilidade para a negociação), também são apresentadas informações sobre o nodo, que provavelmente o aluno irá aceitar, pois não tem contra-argumentações.

Apoio: Tem como objetivo aumentar a confiança do aluno em suas ações através da reafirmação de seus conhecimentos. Essa tática é utilizada quando o aluno tiver construído uma rede com potencial para se tornar uma rede completa, por exemplo, quando estiverem faltando nodos essenciais e quando o aluno tiver declarado a sua confiança como sendo muito baixa. O agente Medidor reapresenta o caso clínico para o aluno como uma maneira de reafirmar o que já está correto e levá-lo a refletir sobre o que ainda falta.

Ampliação: é uma abordagem aberta, sugestiva e convidativa para a elaboração de novas hipóteses, através da ampliação da rede já modelada. Essa estratégia é utilizada no caso da rede potencial (faltam nodos essenciais), quando o aluno tiver declarado uma alta confiança em seu modelo. Pode ser apresentada uma situação que destaca este

nodo, através de um problema, como por exemplo, um conjunto de nodos aleatoriamente escolhidos para que o aluno selecione aquele que está faltando, após refletir sobre cada um. Esta estratégia também é utilizada quando o aluno tiver construído uma rede satisfatória, com alto grau de confiança. Neste caso, o agente Mediador detecta que há algumas relações incorretas ou faltantes, e informa ao aluno que a performance de sua rede ainda está baixa em relação à do especialista, sugerindo que o aluno reveja a sua tabela de probabilidades condicionais.

Comprovação: Tem como objetivo motivar o aluno a reavaliar o seu modelo, pela comparação com modelos consistentes de diagnóstico. Essa estratégia utiliza a própria rede do especialista e um banco de dados de casos reais. Se a confiança for alta, a disponibilização do modelo do especialista confirma a identidade entre ambas. O objetivo da estratégia é aumentar o nível de confiança do aluno que, apesar de ter chegado a um resultado parcial ou mesmo à solução, não se sente seguro sobre o resultado.

Resumindo, as estratégias definidas para o AMPLIA são: Orientação (corrigir ou informar), Contestação (incentivar a auto-avaliação), Apoio (aumentar a confiança), Ampliação (motivar a elaboração de novas hipóteses, a busca de conteúdos, ajuda e explanação) e Comprovação (motivar aprofundamento das reflexões). Cada estratégia contém diferentes táticas, definidas de acordo com a autonomia do aluno. Elas são adequadas às necessidades do aluno de aumentar ou diminuir a confiança em seu próprio modelo, e a sua responsabilidade na auto-avaliação.

A seguir, a tabela 4.3 apresenta um resumo destas estratégias:

Tabela 4.3: Quadro resumo das estratégias

Rede / Confiança	Alta	Média	Baixa
Inviável	Orientação	Orientação	Orientação
Incorreta	Contestação	Contestação	Contestação
Potencial	Ampliação	Ampliação ou Apoio	Apoio
Satisfatória	Ampliação	Comprovação ou Ampliação	Comprovação
Completa	Comprovação	Comprovação	Comprovação

Para exemplificar a inferência realizada pelo agente Mediador, baseada nos parâmetros *Qualidade da rede*, *Credibilidade* e *Autoconfiança*, são apresentadas, logo abaixo, algumas situações passíveis de ocorrência em um processo de negociação pedagógica.

Situação 1: O modelo do aluno apresenta problemas sérios de estrutura, como evidências sem ligação com as demais, ou evidências ligadas em ciclo.

Estratégia: Orientação sobre o problema existente na rede.

Exemplo: Há ciclos (nodos desconexos) em sua rede que não estão de acordo com o conceito de rede bayesiana. / Seu modelo não corresponde ao modelo de rede bayesiana. / Sua rede não está de acordo com o conceito de rede bayesiana.

Situação 2: O modelo do aluno apresenta problemas conceituais, como a ausência do diagnóstico, o diagnóstico justificando os sintomas, ou a presença de uma evidência que, por si só exclui o diagnóstico presente.

Estratégia: Contestação sobre o modelo que o aluno apresenta.

Exemplo: Um nodo fundamental está faltando em sua rede. / A sua rede não expressa uma hipótese diagnóstica, caracterizada pelo fato de um sintoma ou evidência justificar o diagnóstico./ Sua rede contém nodos cuja presença diminui a probabilidade do diagnóstico.

Situação 3: O modelo do aluno não apresenta erros estruturais ou conceituais, porém as evidências ainda não estão completas, e pode haver evidências desnecessárias para a confirmação do diagnóstico.

Estratégia: Apoio para aumentar a confiança e estimular o aluno.

Exemplo:

Apoio: Sua rede ainda não está completa, pois faltam nodos para confirmar o diagnóstico. Verifique, no histórico do paciente, quais evidências já estão representadas em sua rede. / Uma variável importante não está presente. Consulte o material em anexo que reforça esta informação. /

Incentivo: Para que sua rede se torne mais completa, qual das seguintes evidências é decisiva para confirmar o diagnóstico?

Situação 4: O modelo do aluno contém praticamente todas as evidências, entretanto, as relações entre elas não estão corretas ou estão faltando relações.

Estratégia: Comprovação de que estão próximos da confirmação do diagnóstico (para alunos que declararam média ou baixa *autoconfiança*) e incentivo para ampliar o modelo (para alunos de elevada *autoconfiança*).

Exemplo: Comprovação: Experimente executar sua rede e veja se é possível identificar o diagnóstico, pois ainda estão faltando algumas relações entre os nodos ou estas relações estão incorretas. No material em anexo, há informações sobre algumas destas relações.

Situação 5: O modelo do aluno é praticamente igual ao do especialista

Estratégia: Como o modelo é praticamente igual, há um incentivo para que o aluno elabore outras hipóteses.

Exemplo: Ampliação: Sua rede foi comparada a um banco de dados de casos reais e identificou o diagnóstico correto em ...% dos casos, enquanto a rede do especialista identificou um diagnóstico correto em ...%. Para alterar esta performance, ajuste a tabela de probabilidades e submeta-a a uma nova avaliação.

O Anexo B deste trabalho apresenta algumas tabelas que mostram o relacionamento das estratégias e táticas com os parâmetros envolvidos na negociação pedagógica, bem

como os argumentos gerados e as expectativas em relação às próximas ações do aluno no ambiente.

No capítulo, a seguir, estão descritos os resultados obtidos neste trabalho.

4.3 Aspectos de Implementação

A implementação do ambiente AMPLIA foi realizada em duas fases estratégicas bem distintas. Na primeira fase, foram desenvolvidos os protótipos dos três tipos de agentes, foi especificado o modelo inicial para a comunicação e, finalmente, foram implementadas as tarefas de comunicação para cada tipo de agente.

A prototipação dos agentes teve sua origem no editor gráfico de redes bayesianas SEAMED (FLORES et al., 2001), que havia sido implementado em Delphi 6.0. Por essa razão, o processo de agentificação desses módulos de software demandou um tempo de programação muito grande, visto que era necessário definir e implementar o mecanismo para coordenação da interação entre os agentes.

A especificação do modelo inicial para a comunicação foi realizada pelo aluno de doutorado João Carlos Gluz, e está baseada nos atos de fala da linguagem de comunicação FIPA-SL. A implementação da biblioteca para comunicação FACIL⁶ também foi desenvolvida em Delphi 6.0, ela permite a interação dos agentes de software entre si e destes com a plataforma de comunicação FIPA-OS.

Na segunda fase, foi realizada a integração do ambiente AMPLIA com o portal de educação PortEdu, através da troca de mensagens com o agente de perfil de usuário (UPA⁷) e com o agente de recuperação de informações na Web (SEARCH⁸). Esses agentes foram desenvolvidos em Java e utilizam o banco de dados MySQL. O tempo dispensado para essa tarefa também foi razoavelmente grande, dado a necessidade de adequar as estruturas das mensagens às diferentes plataformas de software.

Atualmente, o ambiente AMPLIA funciona em ambiente de rede local devido às limitações existentes na biblioteca FACIL. Estas limitações serão superadas assim que o processo de validação do ambiente AMPLIA estiver concluído.

⁶ Biblioteca para Interface FIPA-ACL – pequena biblioteca para comunicação, compatível com os padrões FIPA, e que pode ser utilizada diretamente em códigos compilados in C, C++ ou Pascal.

⁷ User Profile Agent – utilizado pelo agente Aprendiz quando alguma decisão a respeito da visualização de algum conteúdo deve ser tomada com base nas preferências do usuário. Faz parte de um outro projeto em desenvolvimento no grupo de IA da UFRGS, e disponibiliza um serviço específico de registro e manutenção do perfil do usuário.

⁸ Search Agent – utilizado pelo agente Mediador como um recurso extra no processo de ensino e aprendizagem. Agente também em desenvolvimento pelo grupo de IA da UFRGS, busca informações sobre determinados tópicos na Internet baseado na semântica.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Conforme o definido no Capítulo 1, os objetivos atingidos para a validação da hipótese de pesquisa foram:

A construção de um ambiente de aprendizagem que possibilita a interação simétrica entre os parceiros, usuário (aluno) e sistema. Ou seja, a criação de um *framework* visando à negociação pedagógica;

O uso deste ambiente em experiências de ensino concretas, objetivando comprovar se o processo de ensino-aprendizagem e a negociação pedagógica realmente ocorrem como previsto na hipótese de pesquisa;

O desenvolvimento de um estudo que desse início à possibilidade de se generalizar os resultados obtidos nas experiências de ensino com o ambiente, através da criação de um modelo inicial dos efeitos da negociação pedagógica, nos processos de ensino-aprendizagem.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 5.1 apresenta o processo de ensino-aprendizagem que efetivamente ocorre no ambiente de aprendizagem AMPLIA, descrevendo passo a passo a interação entre o aluno e o ambiente. A seção 5.2 apresenta o modelo geral da negociação pedagógica e a seção 5.3 descreve o curso em andamento no Hospital de Clínicas de Porto Alegre e os primeiros resultados obtidos.

5.1 Ensino e Aprendizagem no AMPLIA

Os modelos pedagógicos que seguem a teoria do construtivismo, baseados nos trabalhos de Jean Piaget (1971), estabelecem o professor como agente mediador na interação aluno (sujeito)/objeto. Os papéis do aluno e do professor são ativos e dinâmicos, desenvolvidos ao longo do processo e sujeitos a constantes reavaliações. Estes modelos diferem do modelo conteudista, centrado no professor e, portanto, colocando o aluno em uma posição de passividade.

Na teoria construtivista, o conteúdo (conhecimento) não está centrado no professor, é um problema que cabe ao aluno explorar, questionar, e repensar de diversas maneiras, criando hipóteses e reflexões. Nesse contexto, o professor acompanha o processo provendo os recursos necessários para a superação de eventuais dificuldades ou para novas interações, apoiando e enriquecendo este processo. Cabe ao professor, portanto, utilizar estratégias que possibilitem ao aluno construir o conhecimento em relação a um determinado objeto.

Piaget (1971), tratando do sujeito epistêmico, fala do sujeito universal, que utiliza as características gerais do conhecimento para a apreensão da realidade. Em outras palavras, trata-se da utilização das estruturas cognitivas para assimilar um problema em uma atividade ou função adaptativa. Assim, nessa concepção, uma estratégia é a utilização da cognição para definir uma ação. A estratégia é *conhecer para fazer* e o papel do professor é promover um desequilíbrio nas estruturas mentais do aluno. Esse

desequilíbrio pode ser obtido, por exemplo, através de questionamentos ou desafios que levem o aluno a buscar novas hipóteses para *conhecer mais, para fazer mais*.

Segue-se, com os estudos de Inhelder e Cellier (1996), o sujeito psicológico individual que possui uma dinâmica de conduta, que escolhe seus meios, controles e heurísticas para a obtenção de um resultado. Este sujeito psicológico tem intenções e valores e, portanto, encontra-se acessível para uma negociação. Nesse enfoque complementar, o papel do professor é prover argumentos suficientemente consistentes para que o aluno aceite negociar, o que o levará a obter melhores resultados ou diferentes soluções para a resolução de um problema, ou seja, a *fazer mais para conhecer mais*.

A negociação tem por intuito abrir uma possibilidade de diálogo, argumentação e colaboração; é uma provocação ou um questionamento, que irão contribuir para a efetiva construção dos conhecimentos e não possibilitar um simples convencimento. Para tal, envolve o grau de confiança que o aluno tem em seu modelo e nas argumentações apresentadas e, igualmente, envolve a confiança que o professor tem em seu próprio modelo e no aluno.

5.1.1 Construtivismo no AMPLIA

Seguindo a abordagem construtivista, as características básicas do processo de ensino-aprendizagem do AMPLIA são:

- O processo de ensino-aprendizagem é constituído por uma seqüência de etapas de tomada de decisão (diferentes estágios) que são dependentes entre si. Cada um destes estágios corresponde a um ciclo de interação entre o aluno e o ambiente, que é iniciado com a apresentação das *crenças* do aluno em relação ao tema sendo estudado.
- O aluno atualiza seu conhecimento, após a análise dos argumentos recebidos durante a execução de cada uma das etapas de tomada de decisão, com o propósito de melhorar suas decisões no próximo estágio. Todas as ações realizadas pelo aluno são registradas pelo agente Aprendiz. Essas observações apóiam a orientação pedagógica construtivista, em que o conhecimento é construído pelo sujeito (aluno), como resultado de suas interações com o objeto (área de estudo).
- Este conhecimento é assimilado e posteriormente acomodado através de alterações nas estruturas mentais pré-existentes. A reflexão sobre essas ações origina novas estruturas mentais, que podem sofrer novas acomodações, e assim sucessivamente (BELHOT, 1998). Esse tipo de comportamento de aprendizagem incremental é altamente desejável em um ambiente de aprendizagem inteligente.

No AMPLIA, tanto o aluno como o agente de Domínio podem apresentar esse comportamento. O aluno, ao analisar as observações e sugestões (argumentos) fornecidas pelo agente Mediador, modifica seu conhecimento, com o propósito de melhorar seu modelo diagnóstico. O mesmo pode vir a acontecer com o agente de Domínio, ou seja, partindo do pressuposto de que um estudo de casos pode ser modelado de diferentes maneiras, o aluno pode vir a criar um modelo viável, embora não idêntico à solução do especialista. Nesse caso, o agente de Domínio aplica o modelo bayesiano do aluno sobre uma base de casos reais para analisar a performance do modelo do aluno. Caso sua performance seja melhor que a do modelo bayesiano definido pelo especialista, o ambiente registra o acontecimento e informa-o ao professor

humano, para que decida se a rede modelada pelo aluno deve ser incorporada, ou não, à base de conhecimentos do agente de Domínio.

Na figura 5.1, a tela em primeiro plano ilustra a interface do editor gráfico colaborativo utilizado pelo aluno para a construção de seu modelo bayesiano. Na janela ao fundo aparece o texto do estudo de caso sobre Insuficiência Cardíaca Congestiva e, na janela à frente, o modelo construído. Na segunda tela, está representado o modelo bayesiano completo do especialista, ou seja, ainda não simplificado para o estudo de caso proposto ao aluno.

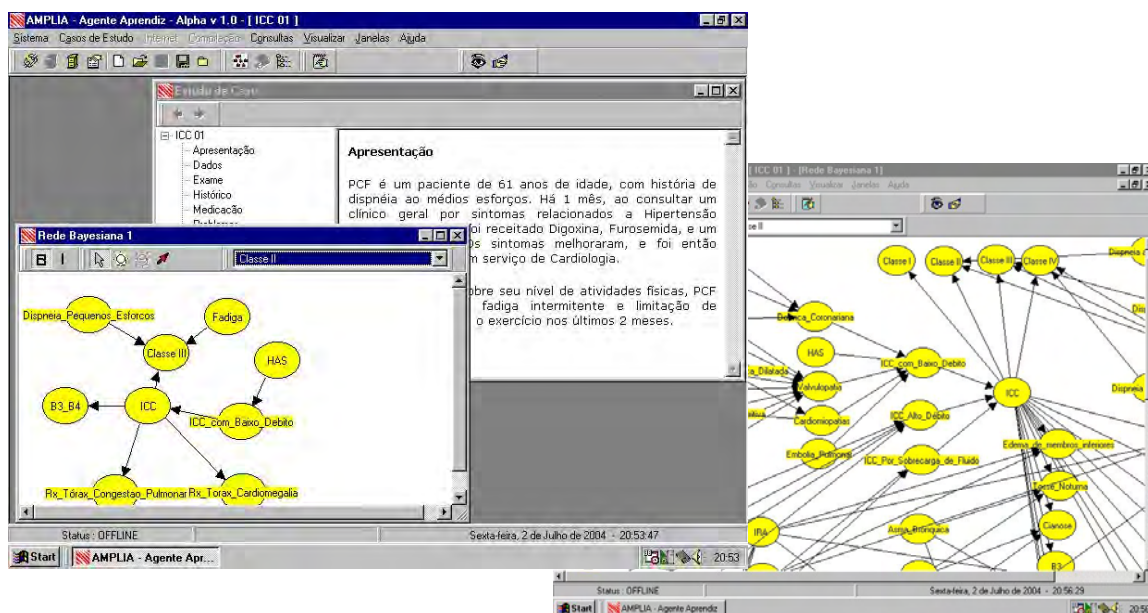


Figura 5.1: Interface do editor colaborativo do ambiente AMPLIA

Na próxima seção, encontra-se descrita a dinâmica de interação entre os agentes.

5.1.2 Dinâmica da Interação entre os Agentes

O processo de negociação segue um protocolo de interação/conversação que está esquematizado na figura 5.2 e descrito a seguir:

- No estado inicial, o agente de Domínio apresenta um estudo de caso para o aluno (*Inform(CaseOfStudy())*). Nesse estado, o agente Aprendiz apenas toma nota do exemplo e o repassa ao aluno.
- No segundo estado, o aluno modela sua hipótese diagnóstica, ou seja, um novo objeto de negociação (*CreateNewNegotiationObject()*), a partir do estudo de caso disponibilizado pelo agente de Domínio. Ainda no segundo estado, o aluno envia seu modelo, por meio do agente Aprendiz, ao agente de Domínio, para que o modelo seja avaliado (*ReviewNegotiationObject()*). Essa avaliação resulta numa classificação dos pontos divergentes do modelo do aluno em relação ao modelo do especialista. A classificação é referente à importância de cada região do modelo (*trigger*, essencial, complementar,...). Essa avaliação **não** é repassada diretamente ao agente Aprendiz, mas enviada ao agente Mediador (*InferredEfficacy()*).

- No terceiro estado, o agente Mediador, baseado no resultado da análise do agente de Domínio (*InferredEfficacy()*), no nível de confiança declarado pelo aluno (*DeclaredConfidence()*) e no nível de autonomia do aluno, inferido pelo agente Aprendiz (*InferredCredibility()*), escolhe a melhor estratégia pedagógica, acionando a tática adequada à situação em particular (*InferredTactics()*).
- No quarto estado, o aluno avalia a mensagem recebida do agente Mediador e procura argumentar sobre os pontos que ele considera importantes, através da alteração de seu modelo (*CreateNewNegotiationObject()*). Neste mesmo estado, o aluno pode também decidir abandonar o processo de aprendizagem (por sentir-se satisfeito ou, por outro lado, insatisfeito).

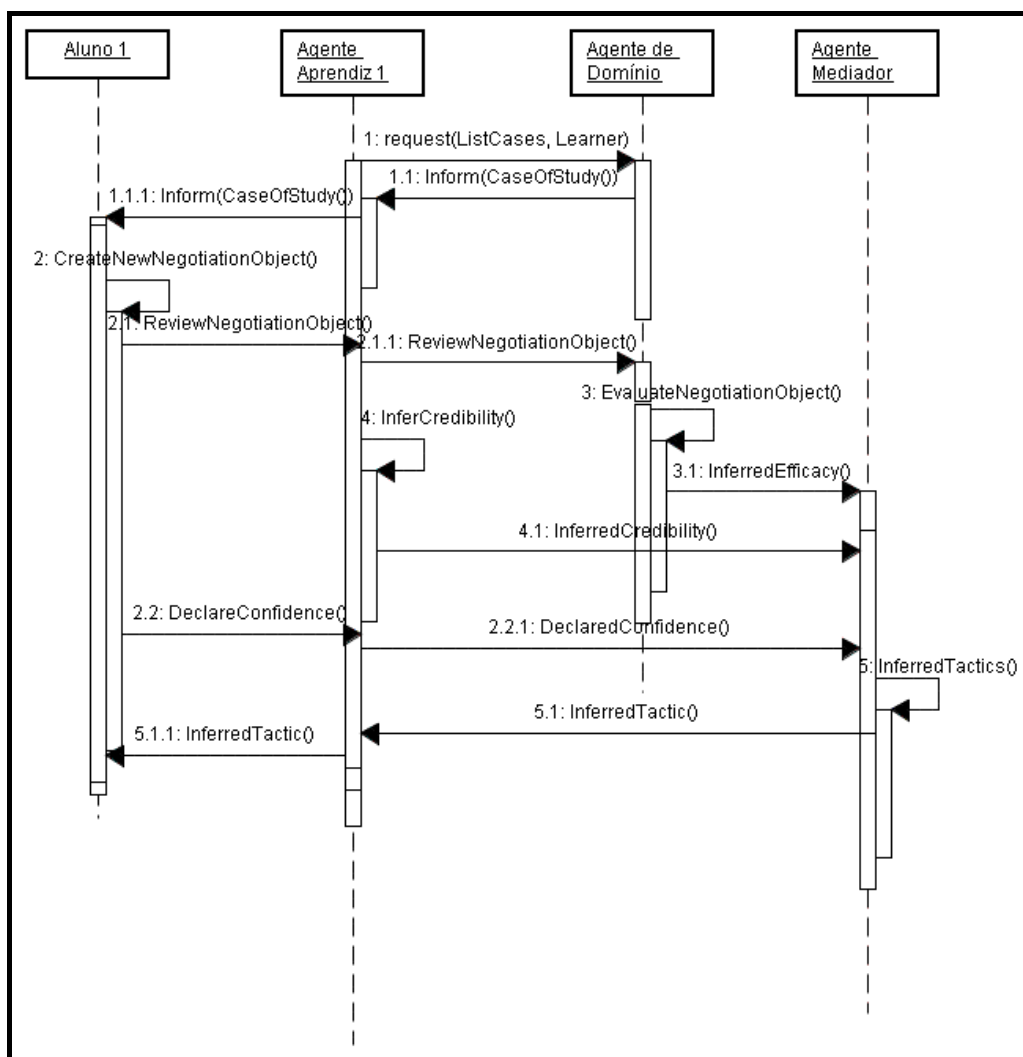


Figura 5.2: Sequência de uma negociação pedagógica

Nesse processo de negociação, tanto o aluno como o agente de Domínio têm a possibilidade de abandonar a interação. Entretanto, o agente de Domínio somente abandona o processo de negociação quando o aluno apresenta uma solução cuja performance seja equivalente, ou melhor, a de seu modelo. O agente de Domínio pode vir a aceitar a modelagem do aluno, embora essa não seja literalmente igual a sua, caso

os argumentos realizados pelo aluno solucionem o problema do estudo de caso apresentado.

A seguir, a negociação pedagógica é exemplificada a partir de uma seqüência de telas de interface do ambiente que foram capturadas durante um estudo real realizado por alunos de medicina que atuam no HCPA.

O aluno recebe o seguinte estudo de caso: “Um paciente procura um médico, com queixa de dispnéia. É fumante e recentemente visitou a Ásia em regiões com precárias condições sanitárias. O exame de RX apresentou a presença de manchas nos pulmões. Quais são os diagnósticos prováveis?”. Após leitura do texto, o aluno inicia sua interação com o ambiente AMPLIA, conforme seqüência ilustrada abaixo:

O aluno seleciona as variáveis que considera relevantes ao caso (nodos *AIDS*, *Bronquite* e *Fumante*), insere um arco e submete sua rede (hipótese diagnóstica) ao sistema, logo após ter declarado baixa confiança em seu modelo (figuras 5.3a e 5.3b).

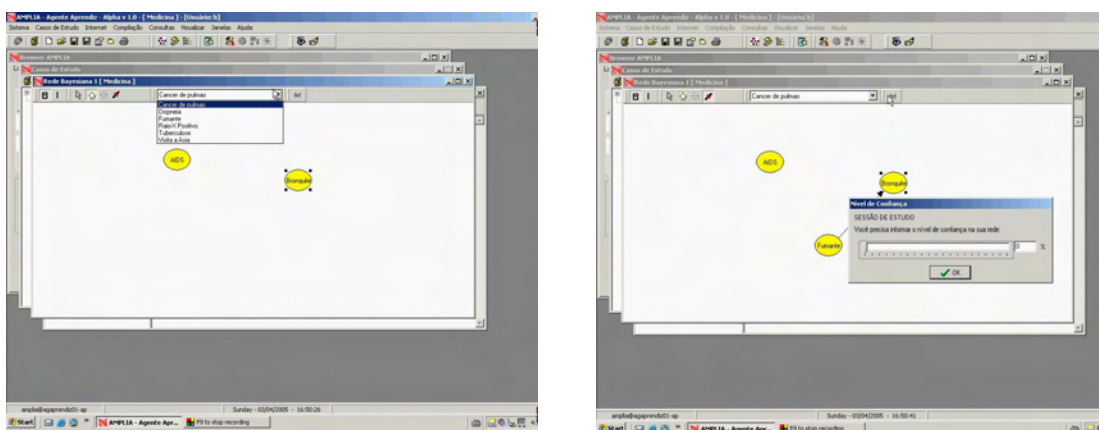


Figura 5.3: (a) Construção da rede. (b) Declaração da *Autoconfiança*

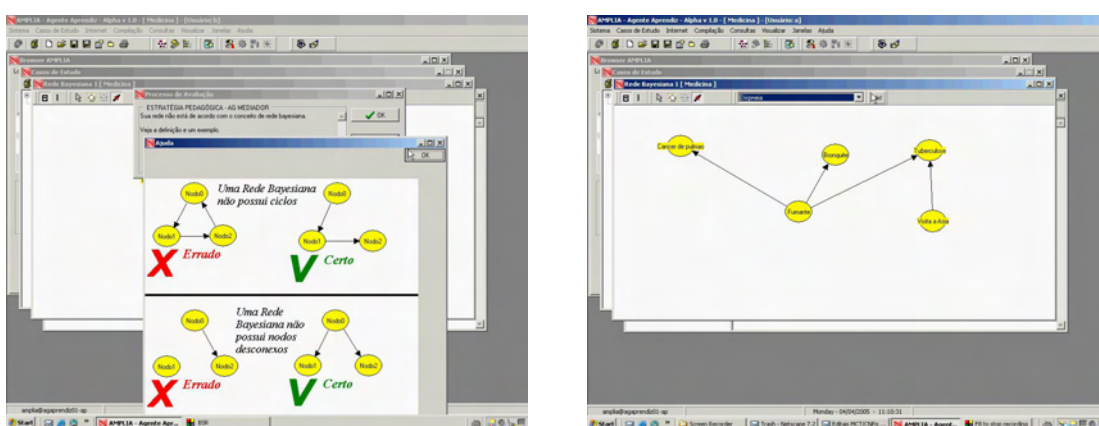


Figura 5.4: (a) Auxílio pedagógico. (b) Reconstrução da rede

A figura 5.5 mostra as probabilidades resultantes nos nodos do diagrama de influência do agente Mediador, após a submissão do modelo bayesiano do aluno e a conseqüente propagação dos parâmetros enviados pelos agentes de Domínio (*Qualidade*

da rede) e Aprendiz (*Credibilidade e Autoconfiança*). As probabilidades iniciais estão descritas na seção 4.2.3.

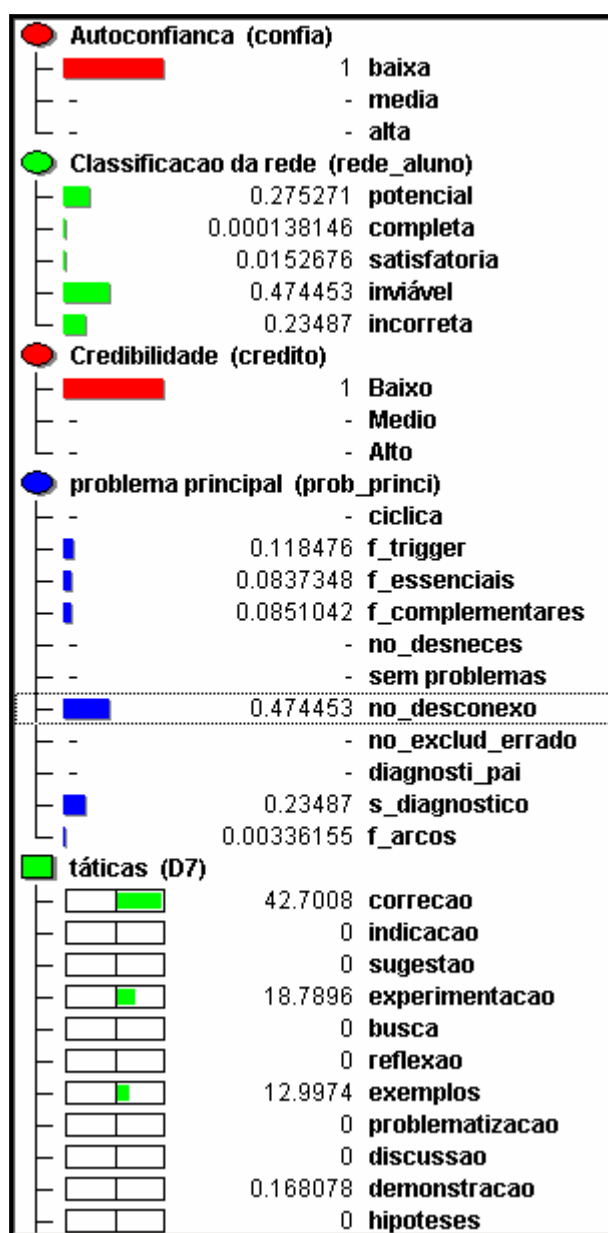


Figura 5.5: Resultado da inferência probabilística do agente Mediador

Observando-se a figura 5.5, verifica-se que a rede é avaliada como *Inviável*, pois, diante dos problemas identificados na rede pelo agente de Domínio, o agente Mediador considera como principal o fato da rede não estar de acordo com o conceito de rede bayesiana. O aluno, por sua vez, declara baixa a sua *Autoconfiança* e, baseado nas ações do aluno, o agente Aprendiz infere uma baixa *Credibilidade*. A estratégia selecionada é *Orientação* e a tática é *Correção*. A figura 5.4a apresenta o recurso didático enviado ao aluno.

Na interação seguinte (Figura 5.4b), o aluno realiza alterações (retira AIDS, insere *Visita à Ásia*, *Tuberculose*, *Câncer de Pulmão*, e modifica os arcos) e novamente submete sua rede ao sistema.

A rede agora é avaliada como *Potencial*, pois os nodos essencial e diagnóstico são identificados, mas falta os nodos *trigger* e complementar. A estratégia agora é *Ampliação* e a tática é *Discussão*. O aluno recebe a sugestão de atualizar as tabelas de probabilidades condicionais (Figura 5.6a).

O aluno insere o nodo *trigger* e submete novamente a rede, sem considerar a sugestão recebida do sistema e declara uma confiança média. Embora ainda faltem nodos complementares, a rede é classificada como *Satisfatória*, porque o problema principal identificado é a falta de arcos e a credibilidade inferida é baixa (Figura 5.6.b). O agente Mediador, baseado na confiança declarada pelo aluno, seleciona a estratégia *Comprovação* e a tática *Hipótese*, ou seja, oferece ao aluno material de apoio (*links*) para ajudar em suas reflexões (Figura 5.7a).

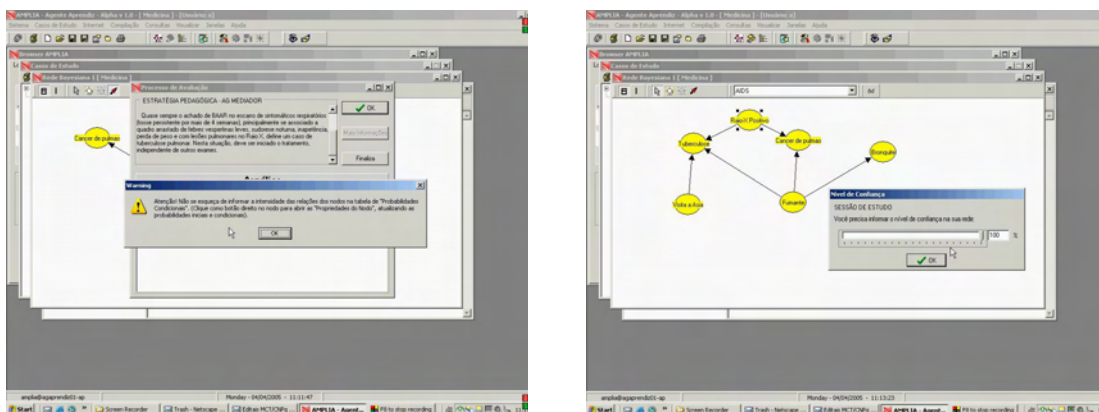


Figura 5.6: (a) Auxílio pedagógico (b) Reconstrução da rede

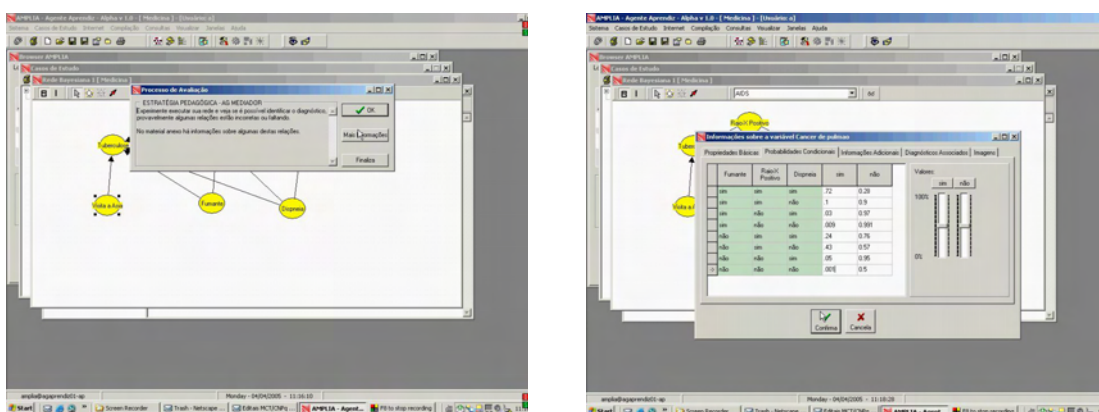


Figura 5.7: (a) Auxílio pedagógico (b) Tabela de probabilidades causais.

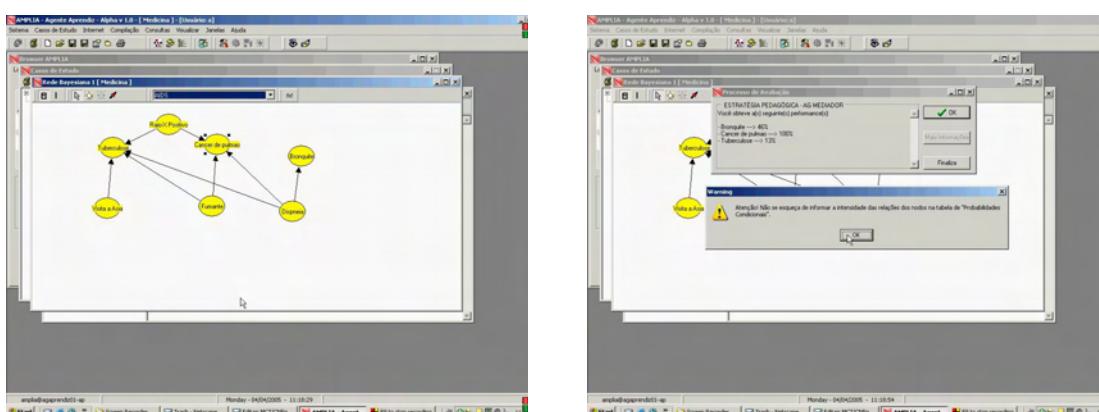


Figura 5.8: (a) Reconstrução da rede (b) Avaliação da performance

Na interação seguinte (Figura 5.7b), observa-se que o aluno inicia a atualização das tabelas de probabilidades condicionais, modificando também alguns arcos (Figura 5.8a). A rede do aluno se mantém *Satisfatória*, entretanto, a estratégia e a tática selecionadas, *Ampliação* e *Discussão*, se modificam devido à declaração de alta confiança feita pelo aluno. O objetivo do agente Mediador, nesta etapa do processo de negociação, é motivar o aluno a continuar a submeter a sua rede a uma base de dados de casos reais visando à avaliação da performance do modelo bayesiano do aluno (avaliação quantitativa). A

figura 5.8b mostra que a performance da rede do aluno está baixa para alguns dos diagnósticos (Tuberculose 13%, Bronquite 46% e Câncer de pulmão 100% dos casos corretamente diagnosticados).

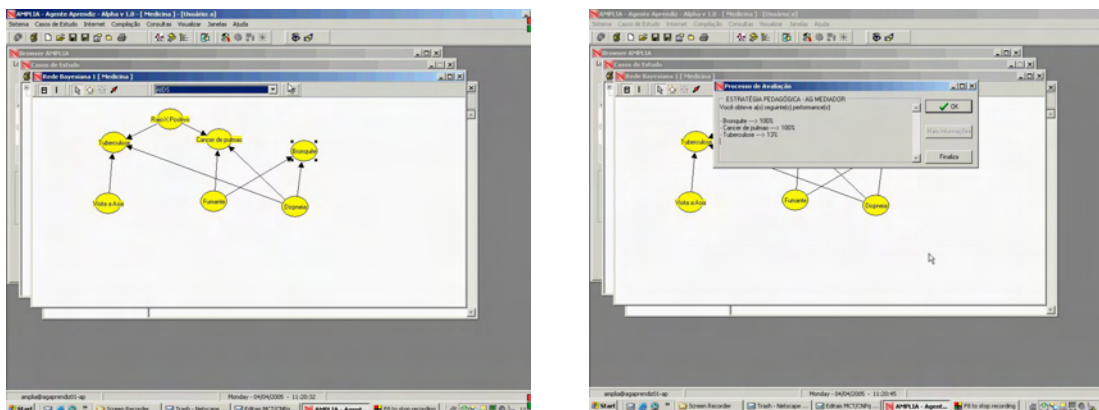


Figura 5.9: (a) Reconstrução da rede (b) Avaliação da performance

Na interação seguinte, o aluno modifica a posição de alguns arcos (figura 5.9a) e também atualiza as tabelas de probabilidades condicionais. O aluno, então, submete a rede a uma nova avaliação, declarando uma alta confiança. Devido às poucas modificações realizadas na rede, o agente Aprendiz infere uma alta credibilidade. O agente Mediador volta a classificar a rede do aluno como *Satisfatória*, pois, com base no modelo do especialista, ainda falta inserir um nodo complementar. A figura 5.9b ilustra o aumento da performance da rede do aluno (Bronquite 100%, Câncer de pulmão 100% e Tuberculose 13%).

Neste ponto, o aluno abandona o processo de negociação e, como os parâmetros *Credibilidade* e *Autoconfiança* estavam altos, o sistema considera ter atingido o seu principal objetivo, que é o de reduzir a assimetria inicial que existe entre as confianças do aluno e o sistema.

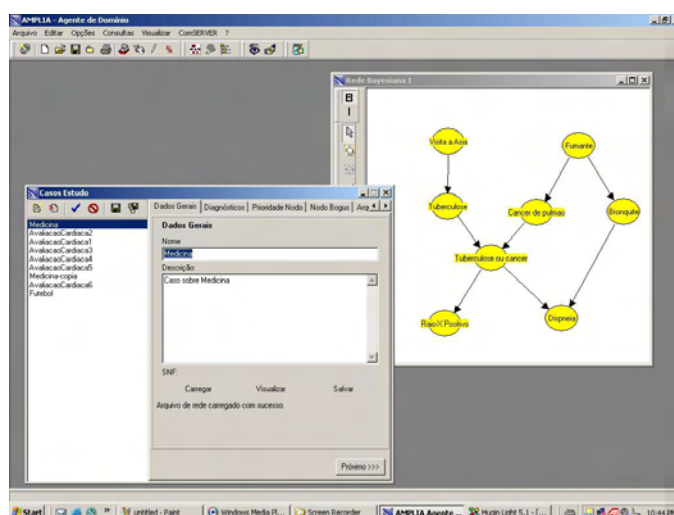


Figura 5.10: Agente de Domínio com a rede do especialista

A figura 5.10 apresenta a interface do agente de Domínio com o modelo bayesiano construído pelo especialista para o estudo de caso acima descrito. No caso mostrado, o modelo construído pelo aluno é diferente do modelo do especialista.

Como se pode observar, a negociação é um processo interativo formado por uma seqüência de etapas de tomada de decisão (diferentes estágios) que são dependentes entre si, em que o agente Mediador motiva continuamente o aluno a alcançar seus objetivos, que são: construção de um modelo hipotético e desenvolvimento de seu raciocínio diagnóstico. Depois de repetidos encontros, o agente Mediador pode analisar os padrões de comportamento do aluno para estabelecer uma analogia com o papel do professor na abordagem construtivista. Essa análise pode influenciar na avaliação dos argumentos em situações de impasses. Um exemplo de impasse é quando o aluno persiste em algum erro, mesmo com todos os argumentos já fornecidos. Uma nova estratégia deve ser então empregada. As figuras 5.13 e 5.14 apresentam os gráficos que podem ser usados para acompanhamento e análise do processo de negociação pedagógica. Esses gráficos são gerados em tempo real pelo agente Mediador durante a interação do aluno com o sistema.

5.2 Modelo geral da Negociação Pedagógica

Retomando a idéia de que o processo de ensino-aprendizagem pode ser visto como uma maneira de reduzir (ou eliminar) a assimetria inicial na relação de confiança que professor e aluno têm sobre um tema, o principal objetivo a ser alcançado pela negociação pedagógica proposta no projeto AMPLIA é o estabelecimento e a confirmação de um alto grau de confiança entre os participantes do processo. Não se trata de uma confiança genérica, mas sim bem específica e objetiva, relativa às habilidades alcançadas e demonstradas pelo aluno em relação ao objeto de estudo.

É importante aqui ressaltar que os participantes do processo de ensino-aprendizagem e, conseqüentemente, do processo de negociação pedagógica, são o aluno, que no ambiente AMPLIA é representado pelo agente Aprendiz, e o professor, tendo este suas atribuições distribuídas entre os três tipos agentes artificiais que formam o ambiente de aprendizagem, ou seja, o agente Aprendiz, o agente de Domínio e o agente Mediador.

Pode-se, então, dizer que o modelo de negociação aqui proposto tem por objetivo aumentar tanto quanto possível (a) a performance do modelo bayesiano do aluno ao diagnosticar casos reais, igualando ou superando a performance do modelo bayesiano do especialista (*Qualidade da Rede*); (b) a confiança do professor (tutor) nas capacidades do aluno em diagnosticar um caso clínico (*Credibilidade*) e (c) a confiança do aluno nas suas capacidades de realizar um diagnóstico (*Autoconfiança*).

O grau de crença sobre uma ação autônoma é um componente importante de confiança que precisa ser considerado em um dado processo de ensino-aprendizagem. Esta variável corresponde à *Credibilidade* sobre as ações do aluno, que é inferida pelo agente Aprendiz. A *Autoconfiança* (a confiança que o aluno possui em seu modelo bayesiano) é outra variável usada na negociação pedagógica, uma vez que o aluno deve estar confiante em suas hipóteses na construção do seu conhecimento.

A *Qualidade da Rede* é o terceiro elemento considerado no processo de negociação, ou seja, como o aluno é capaz de formular uma hipótese diagnóstica que tem uma alta probabilidade de ser compatível com o caso, e como deve ser o diagnóstico proposto pelo especialista. A qualidade é avaliada pelo agente de Domínio. O agente Mediador

usa esses três parâmetros para a seleção de estratégias pedagógicas e táticas, bem como para definir a forma como elas serão apresentadas ao aluno.

A negociação pedagógica do ambiente AMPLIA, baseada na análise realizada no Capítulo 3, pode ser caracterizada: i) pelo **objeto de negociação** (crença sobre o conhecimento do domínio); ii) pelo **estado inicial da negociação** (ausência de um acordo, que é caracterizado pelo desequilíbrio entre a *Credibilidade* e a *Autoconfiança*, além da baixa *qualidade do modelo bayesiano* do aluno; iii) pelo **estado final da negociação** (alto nível de simetria entre a *Credibilidade* e a *Autoconfiança*, além de uma boa qualidade do modelo bayesiano do aluno e iv) pelos **processos de negociação** (que movem do estado ii para o estado iii). Esse esquema forma a base do modelo de negociação desenvolvido para o ambiente AMPLIA.

5.2.1 O Objeto de Negociação do AMPLIA

Como bastante explorado no decorrer desta tese, o objeto de negociação para o processo de negociação pedagógica do ambiente AMPLIA é todo e qualquer domínio de conhecimento que possa ser representado por uma rede bayesiana. Ela expressa a crença probabilística de um sujeito sobre um determinado conhecimento e permite a construção e a re-construção de hipóteses diagnósticas, o que a torna poderosa ferramenta para o desenvolvimento do raciocínio diagnóstico.

É importante ressaltar, como discutido por Piaget nas obras *A Tomada de Consciência* (PIAGET, 1977) e *Fazer e Compreender* (PIAGET, 1978) que, pelo fato de ter obtido êxito em alguma ação (conseguir, acertar) não significa que o sujeito tenha compreendido o fato em si, embora a compreensão (tomada de consciência) sempre ocorra a partir de uma ação, em situações elementares. A partir de determinado nível e em situações mais complexas, há influências resultantes do conceito sobre a ação. Assim, se em situações elementares é possível fazer sem compreender, normalmente a compreensão decorre do refletir sobre o fazer e, em estágios superiores, é possível pensar e experimentar como fazer ou criar diferentes modos de fazer.

Observando-se a importância do “fazer” para a tomada de consciência, um desafio é a utilização desses estudos especificamente para nortear as ações do professor de modo a permitir a construção do conhecimento pelo aluno. É importante que o professor acompanhe e reconheça o processo desenvolvido por seu aluno, identificando em que ponto ou nível ele se encontra ao estudar determinado objeto e, a partir dessas observações, oferecer ou criar condições para que o aluno possa realizar as tarefas com êxito, refletir e finalmente criar novas hipóteses. Para construir o seu modelo de aluno, esse professor, por sua vez, baseia-se em observações que podem estar sujeitas a erros e a variações pessoais, não podendo ser tomadas como absolutas mas como prováveis indícios, que serão constantemente reavaliados.

Este desafio aumenta à medida que o aluno (jovem ou adulto) atua no nível das operações formais. Portanto, o objeto deixa de ser um material concreto, como objetos físicos, passando a representações do objeto, como textos descritivos, modelos matemáticos, tabelas e/ou regras. O professor deve acompanhar a construção da representação do objeto e não somente considerar o resultado final, de maneira a identificar todo o processo dialético de interiorização e exteriorização possibilitando a intervenção pedagógica dirigida ao nível de conceituação deste aluno. Na ótica da Informática na Educação, a questão também é desafiante, como em ambientes de aprendizagem onde agentes inteligentes assumem o papel do professor. Esses ambientes

devem permitir ao aluno representar seu modelo de raciocínio (processo de tomada de consciência) e aos agentes inteligentes o acompanhamento e a interpretação desse processo. Esses requisitos são atendidos pelas redes bayesianas, que disponibilizam uma interface gráfica para uma modelagem intuitiva, com base em princípios matemáticos bem fundamentados.

A crença do professor, modelada também com redes bayesianas, é denominada modelo bayesiano do especialista. Como se tratam de crenças em domínio incerto, é aceitável que o modelo bayesiano também possa estar incompleto, ou seja, que existam outros modelos mais completos. Por isso, usa-se uma base de casos reais para validar essas crenças. A base de casos é atualizada continuamente. Uma crença expressa o quanto se acredita em x , ou o quanto se confia que x está certo. Nesta ótica, as confianças do professor e do aluno são dois dos parâmetros envolvidos na negociação.

5.2.2 Estados inicial e final da negociação

Um problema importante que alguém se depara quando tenta definir o papel da negociação pedagógica dentro de um processo de ensino-aprendizagem é tentar entender claramente quais são os objetivos deste processo e como a negociação pedagógica se encaixa nestes objetivos.

Voltando ao problema inicial, pode-se ver que os resultados de uma negociação pedagógica devem estar relacionados aos objetivos finais do processo de ensino-aprendizagem. Também se pode ver que o conceito de preferência ou utilidade que um agente possui em uma situação, simplesmente não é suficiente para caracterizar claramente que resultados são esperados da negociação pedagógica. Busca-se mostrar que a noção de confiança de um agente em relação a outro (ou em relação a si mesmo), pode ser usada para caracterizar com maior precisão o processo de ensino-aprendizagem, sem se deparar com tantas dificuldades epistemológicas.

Como visto anteriormente, adota-se uma noção de confiança baseada na expectativa de comportamento futuro de um agente em relação a outro (ou em relação a si mesmo). A principal idéia defendida aqui é que a expectativa de comportamento futuro de um agente possa ser mais facilmente avaliada ou julgada como correta, ou não, do que a percepção do quanto este agente conhece sobre algum tema. Por exemplo, considerando o cenário clássico professor-aluno, ao invés de se definir um teste formal como um mecanismo de avaliação que o professor usa para “medir” quanto o aluno “sabe” em relação a um tema, ele é reinterpretado como um mecanismo formal de verificação de quanto o aluno atende às expectativas do professor, em relação a uma determinada situação. Se tais expectativas puderem ser precisamente expressas, espera-se evitar alguns problemas clássicos sobre a avaliação de conhecimentos.

Considerando o cenário de aprendizagem professor-aluno, um primeiro passo na caracterização do processo de ensino-aprendizagem é definir os objetivos de cada um dos atores neste processo. Do ponto de vista da transferência de conhecimentos, os principais objetivos de um professor são o de ajudar o aluno a atingir compreensão sobre o tema a ser estudado e se certificar que ele realmente conseguiu atingir tal compreensão. É este objetivo de certificação que será primeiramente analisado, em termos da relação de confiança. Dessa forma, o objetivo de se certificar que o aluno conseguiu atingir um nível apropriado de compreensão se traduz em garantir que o professor tenha confiança nos comportamentos futuros do aluno, em se tratando de

situações que ponham à prova os conhecimentos e técnicas que deviam ter sido aprendidas pelo aluno.

Para tanto, o professor deve ter evidências concretas que este nível de compreensão foi atingido (resultados de provas, exames, testes e quaisquer tipos de situações que apresentem problemas “controlados”, isto é, de resolução conhecida). Essas evidências servem basicamente para reforçar a confiança do professor nas capacidades aprendidas do aluno e, por fim, certificar que o aluno está apto a compreender (e atuar) em situações que requeiram esse tipo de conhecimento, e avançar para o aprendizado em outras áreas.

Com relação ao papel do professor como ajudante no processo de ensino-aprendizagem, não se pode caracterizar este papel apenas como uma relação de confiança do professor em relação ao comportamento do aluno. Uma análise inversa é necessária para poder entendê-lo melhor, isto é, para que o professor possa ajudar o aluno é necessário que o aluno confie no professor. Existem duas características importantes a delinear o comportamento do aluno:

Em primeiro lugar, deve existir um vínculo de confiança do aluno em relação às capacidades de julgamento do professor, diante dos conteúdos que estão sendo desenvolvidos. Isto é, o aluno deve confiar que o professor possui um conhecimento mais aprofundado ou preciso em relação aos temas sendo estudados. Se assim não fosse, então, porque o aluno precisaria do professor? Como já foi comentado anteriormente, afirmar isto não implica necessariamente que este grau de confiança tenha que ser total, ou seja, que o aluno tenha que confiar cegamente no professor em relação ao tema sendo estudado. O que se afirma é que um grau razoável de confiança deve existir e ser assumido para que o processo de ensino-aprendizagem possa começar (e também continuar).

Um segundo aspecto é o quê o aluno espera como resultado do processo de ensino-aprendizagem. A pressuposição simplificadora feita aqui é que o aluno espera atingir um nível de conhecimento que o permita compreender e resolver situações ou problemas dentro da área ou disciplina sendo estudada. De novo, a questão aqui não é tanto o que o aluno pretende, mas como se pode ter evidências concretas de que o objetivo foi alcançado. A explicação que parece mais natural é que todo o processo que serve para o professor juntar suas evidências de que o aluno atingiu determinado objetivo (prova, teste, etc.) também serve como reforço de confiança ao aluno. Com base neste processo, o aluno forma um modelo sobre que tipos de comportamentos são razoáveis, ou aceitáveis, para certificar-se, com o professor, da viabilidade desses modelos.

Resumindo, o processo de ensino-aprendizagem pode ser visto como uma maneira de reduzir (ou eliminar) a assimetria inicial na relação de confiança que professor e aluno têm sobre o tema sendo ensinado. De uma forma esquemática:

Início do processo de ensino-aprendizagem:Professor:**(IP.1)** Alto grau de confiança em sua capacidade de julgamento no tema a ser ensinado.**(IP.2)** Baixo grau de confiança nas capacidades do aluno em tratar esse tema.Aluno:**(IA.1)** Baixo grau de confiança em sua capacidade de julgamento no tema a ser ensinado.**(IA.2)** Alto grau de confiança nas capacidades do professor em tratar esse tema.**Fim (desejado) do processo de ensino-aprendizagem:**Professor:**(FP.1)** Alto grau de confiança em sua capacidade de julgamento no tema a ser ensinado.**(FP.2)** Alto grau de confiança nas capacidades do aluno em tratar esse tema.Aluno:**(FA.1)** Alto grau de confiança em sua capacidade de julgamento no tema a ser ensinado.**(FA.2)** Alto grau de confiança nas capacidades do professor em tratar esse tema.

As condições **(IP.1)** e **(FP.1)**, assim como **(IA.2)** e **(FA.2)**, não deveriam mudar, sendo apenas bases para o início, andamento e fim apropriado do processo. O resultado efetivo do processo seria o aumento do grau de confiança do professor no aluno: **(IP.2)** para **(FP.2)**, e do aluno em relação a si mesmo: **(IA.1)** para **(FA.1)**.

5.2.3 O Processo de negociação

Os participantes de uma negociação pedagógica são o aluno e o professor. No AMPLIA, o aluno é representado pelo agente Aprendiz e as tarefas do professor são realizadas por três agentes artificiais: (A) o agente Aprendiz que, além de representar o aluno, infere o nível de credibilidade, como um professor que somente observa as ações do aluno, sem interferir nas mesmas; (B) o agente de Domínio, que avalia a qualidade do modelo bayesiano do aluno e verifica a performance tanto do modelo do aluno como do professor, a partir de uma base de dados de casos reais, e (C) o agente Mediador, que seleciona as estratégias pedagógicas.

A figura 5.11 apresenta os principais elementos do modelo de negociação: o *estado inicial*, o *estado final*, o *objeto de negociação* e o *processo de negociação*. O *objeto de negociação* está representado por círculos que indicam os estados do modelo bayesiano do aluno. Os estados são representados pelo Problema Principal (PP), que é identificado pelo agente Mediador. O estado inicial é definido em relação aos elementos específicos (crenças e objetivos mútuos e individuais) do aluno e do sistema. O único elemento requerido é o objetivo mútuo de acordo em relação a algum objeto de negociação. O estado final é obtido quando alcançada a simetria entre as confianças do aluno (*Autoconfiança*) e do sistema (*Credibilidade*) e quando o modelo bayesiano do aluno chegar a um dos estados de rede Satisfatória ou Completa, com uma performance semelhante ou então superior a do modelo do especialista. O triângulo invertido representado na figura 5.12 procura indicar a busca da convergência para este estado final.

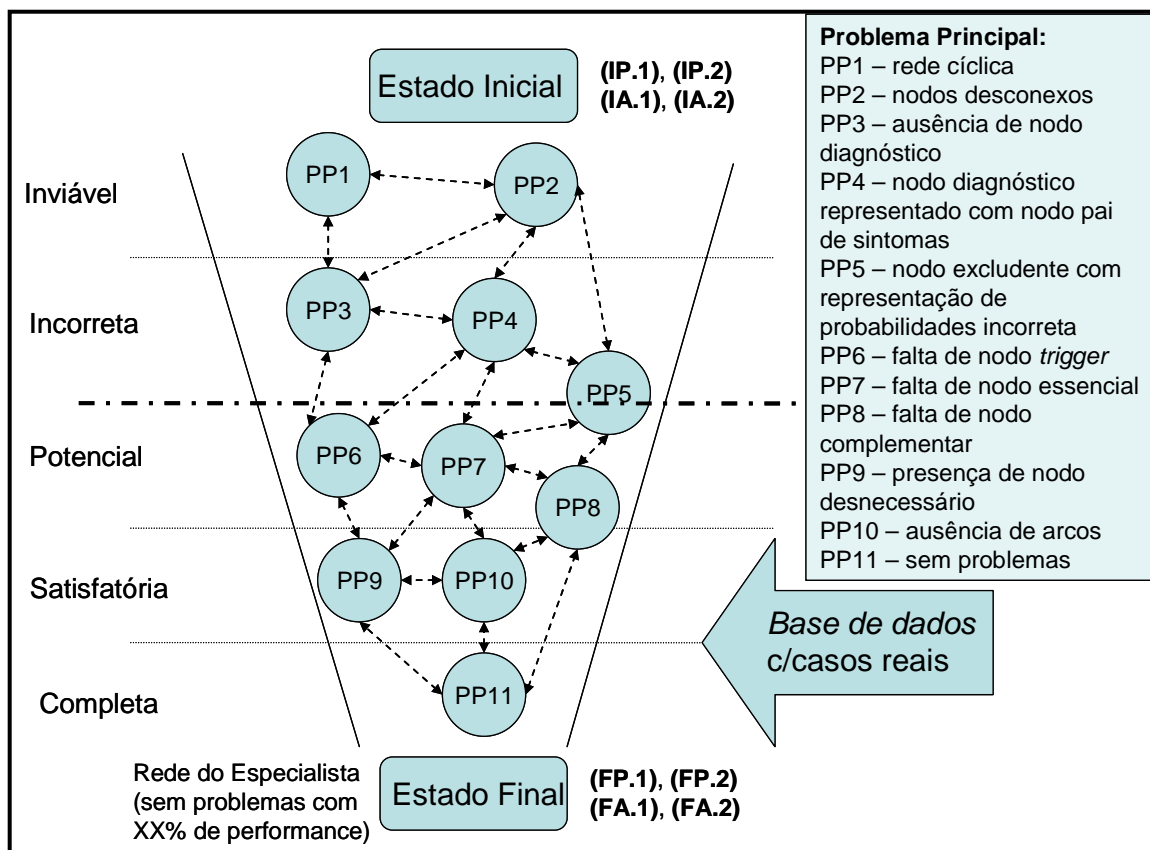


Figura 5.11: Processo de Negociação Pedagógica do AMPLIA

A estratégia pedagógica é selecionada a partir do problema principal encontrado no modelo bayesiano do aluno e sua *Autoconfiança*. A *Credibilidade* representa o ‘ajuste fino’ e determina que táticas serão aplicadas ao aluno, isto é, a tática é a maneira como a estratégia será empregada.

No estado inicial, o objeto de negociação sequer está corretamente definido (não se constitui uma rede bayesiana), em outras palavras, não há negociação. A estratégia pedagógica usada neste caso é orientar o aluno: a tática pode ser mostrar o problema, afirmar que existe um problema ou sugerir que o aluno reveja o seu modelo bayesiano em busca de problemas conceituais. No nível seguinte, em que o objeto está incorretamente representado, o agente Mediador contesta a representação do aluno. Nesses primeiros níveis, o foco das ações do agente Mediador está no objeto concreto (o modelo bayesiano que está representado) e não inclui a confiança que o aluno tem em sua rede, portanto não consideramos que o processo de negociação já tenha iniciado.

Nos níveis que se seguem, tem início o processo da negociação propriamente dita: o objetivo do agente Mediador é levar o aluno a refletir sobre seu modelo bayesiano para melhorar a sua hipótese de diagnóstico, ou seja, ampliá-la através da inclusão de nodos faltantes (rede *Potencial*) e da indicação de relações entre as evidências. A confiança e a credibilidade também passam a ser objetos de negociação, e não somente parâmetros para a seleção das estratégias. Por outro lado, no momento em que o modelo do aluno começa a ser classificado como sendo uma rede *Satisfatória* (em relação ao modelo do especialista) o agente Mediador começa a alertar o aluno para a necessidade de fazer o ajuste das probabilidades iniciais e condicionais da rede. Ao mesmo tempo, o modelo do aluno é submetido a um banco de casos reais para avaliação de sua performance. O

modelo do especialista, por sua vez, também é avaliado por este mesmo banco, visto que o mesmo está continuamente sendo incrementado por novos casos reais. Desta forma, o agente Mediador abre a possibilidade de redes construídas por alunos apresentarem uma performance melhor do que a do próprio especialista. Em termos da negociação proposta, lembramos que as condições **(FP.1)** e **(FA.2)** são somente uma base para esse processo.

Por outro lado, mesmo que a rede do aluno seja classificada como completa, se o agente Aprendiz detectou uma baixa *Credibilidade*, ou se o aluno declarou baixa *Autoconfiança*, o agente Mediador insistirá com táticas diferenciadas como demonstrações ou discussões, para elevar estes parâmetros (correspondendo às condições **(FP.2)** e **(FA.1)**). Enquanto este estado não for alcançado, o agente Mediador não considerará a negociação encerrada, embora o aluno possa abandonar o processo a qualquer momento.

5.3 Curso de Extensão para Capacitação Docente

Os resultados até agora obtidos foram coletados com a realização do curso de extensão promovido pelo grupo de pesquisa do projeto AMPLIA, no Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Os dezesseis profissionais da saúde inscritos no curso são oriundos de diferentes especialidades médicas, tais como, cirurgia, anestesia, psiquiatria, endocrinologia, cardiologia, medicina interna, odontologia e enfermagem.

O propósito do curso foi promover a divulgação do ambiente AMPLIA junto à comunidade de ensino médico, visto que a concepção do ambiente esteve sempre voltada a esses profissionais. Nossa intenção, além da validação do ambiente de ensino-aprendizagem foi a de sensibilizar os médicos docentes a utilizarem o ambiente como ferramenta adicional na formação de jovens médicos.

A figura 5.12 mostra parte da rede construída pelo Dr. Ronaldo David⁹. A rede foi modelada visando ser o modelo bayesiano do especialista no ambiente, ou seja, além da modelagem da rede, recursos didáticos (textos e imagens) foram selecionados e disponibilizados no AMPLIA. Devido aos ótimos resultados adquiridos com a construção da rede e com a relação mantida com os médicos durante seis meses, surgiu o interesse pela criação de uma oficina onde outros médicos especialistas pudessem passar pela mesma experiência que passou o Dr. Ronaldo, ou seja, a modelagem de redes bayesianas.

A proposta e a definição do formato do curso surgiram após constantes interações com o grupo de anestesia do hospital. O curso teve início em abril de 2005 e se estende até agosto do mesmo ano. Está sendo realizado em duas etapas distintas. Os encontros acontecem sempre às segundas-feiras, das 19h30 as 21h30, no laboratório do Hospital de Clínicas. Dos testes práticos, participam os integrantes do projeto AMPLIA (bolsistas IC, médicos, doutorandos e coordenadora) e alunos de graduação e de residência médica.

Para auxiliar na avaliação dos resultados, foram elaborados questionários de pré- e pós-testes e realizadas entrevistas que foram gravadas. Também serão utilizados os resultados armazenados nos *logs* de utilização. Este material fará parte de duas teses de

⁹ Autorização para divulgação do nome obtida através de consentimento informado.

doutorado do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PGIE), de autoria de Louise Seixas e Lauro Nakayama.

A primeira etapa do curso tinha por objetivo fazer com que os especialistas construíssem redes bayesianas. Nessa etapa, diversas redes foram modeladas pelos participantes do curso, visando sua utilização como modelo do especialista no ambiente AMPLIA. Dentre os casos clínicos selecionados, pode-se citar: *avaliação pré-anestésica do paciente portador de risco cardíaco, neuropatia diabética, transtornos afetivos, broncoespasmo, via aérea difícil, neuralgia do trigêmio, complicações neurológicas da anestesia praticada no neuro-eixo e dor abdominal aguda – cirurgia de apendicite.*

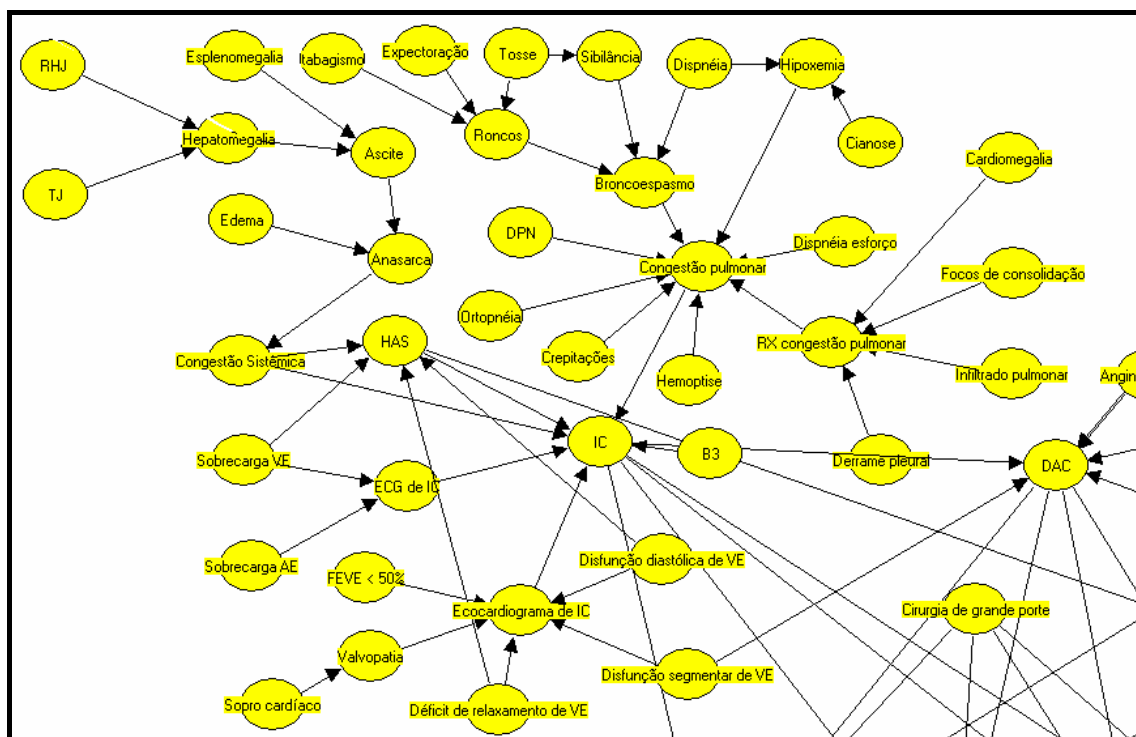


Figura 5.12: Rede Bayesiana para avaliação cardíaca pré-operatória

A segunda etapa tem por objetivo a interação de dezoito médicos, alunos residentes do Departamento de Anestesia, como o ambiente AMPLIA. Os resultados obtidos nessa etapa do curso serão publicados em artigos científicos, que serão elaborados pelos participantes do projeto, e nas teses de doutorado acima mencionadas (PGIE-UFRGS).

5.3.1 Metodologia aplicada

A tabela 5.1 apresenta as atividades programadas para cada dia de encontro.

Os resultados obtidos nestes primeiros testes têm apresentado uma convergência com as observações feitas por um professor que acompanha seus alunos durante o processo de construção de seus modelos bayesianos. Isso significa que é provável que o professor use táticas e estratégias semelhantes àquelas selecionadas pelo sistema. Em resumo, o modelo do aluno elaborado pelo professor é similar ao modelo construído no AMPLIA, e as decisões tomadas pelo ambiente estão alinhadas às posições pedagógicas do professor.

Tabela 5.1: Programa do curso de extensão

Aula	Tema	Prática
1	Apresentação da equipe Informações sobre o curso Introdução à IA	Apresentação de vídeo
2	Representação do conhecimento - Ambiente AMPLIA, construção de redes para o estudo de caso “futebol”	Interação entre o AMPLIA e os professores
3	A Pedagogia no AMPLIA - Processo de aprendizagem, teoria da construção do conhecimento, estratégias pedagógicas no AMPLIA	Apresentação das estratégias pedagógicas
4	Redes bayesianas - Redes bayesianas, raciocínio diagnóstico, modelagem de casos, probabilidades, modelo do especialista	Exploração do agente de Domínio pelos professores
5	Recuperação de informações - Mecanismos de recuperação de informação, parâmetros, validação e avaliação, perfil do usuário	Apresentação do PortEdu e do RI
6	Negociação pedagógica - Processo de negociação entre agentes, a colaboração entre usuários	Edição colaborativa
7	AMPLIA como ferramenta (Como o especialista constrói o seu modelo)	Exploração da rede Avaliação Cardíaca
8	Construindo com o AMPLIA	Modelagem de redes
9	Construindo com o AMPLIA (continuação)	Modelagem de redes
10	Construindo com o AMPLIA (continuação)	Modelagem de redes
11	PROMED e novos recursos pedagógicos	Apresentação das redes
12	Avaliação do ambiente de aprendizagem (continuação)	Interação entre o AMPLIA e os alunos
13	Avaliação do ambiente de aprendizagem (continuação)	Interação entre o AMPLIA e os alunos
14	Avaliação do ambiente de aprendizagem (continuação)	Interação entre o AMPLIA e os alunos
15	Avaliação do ambiente de aprendizagem (continuação)	Interação entre o AMPLIA e os alunos
16	Avaliação do ambiente de aprendizagem (continuação)	Interação entre o AMPLIA e os alunos
17	Avaliação do curso	

Quanto ao mecanismo de negociação pedagógica em si, se ele realmente ajuda no processo de ensino-aprendizagem do aluno. O número de casos onde realmente ocorre a negociação pedagógica, ou seja, casos onde o aluno tenha proposto um modelo bayesiano diferente do modelo construído pelo especialista ou que o modelo do aluno tenha apresentado uma performance superior a do especialista, infelizmente não estão presentes neste texto, devido a necessidade de imediata conclusão do mesmo.

Os resultados obtidos até o momento são favoráveis, além de se ter percebido uma boa aceitação do sistema, que teve a simpatia tanto dos professores médicos como dos alunos de medicina. A interface do editor gráfico colaborativo através da qual o usuário interage com o ambiente AMPLIA foi aprovada por professores e alunos, e os poucos experimentos realizados estão exemplificados na seção 5.3.2.

5.3.2 Exemplos de Negociação Pedagógica no ambiente AMPLIA

A figura 5.13 apresenta o gráfico de acompanhamento de um aluno no AMPLIA. Este gráfico é gerado em tempo real, pelo agente Mediador, permitindo o acompanhamento visual do processo de construção da rede do aluno. Em cada ciclo de interação, definido pela submissão da rede pelo aluno, a coluna da esquerda indica a confiança declarada, a coluna da direita indica a credibilidade inferida e a faixa no sentido horizontal, a classificação da rede, desde o ponto mais baixo (*Inv* – Inviável) até o mais elevado (*Comp* - Completa).

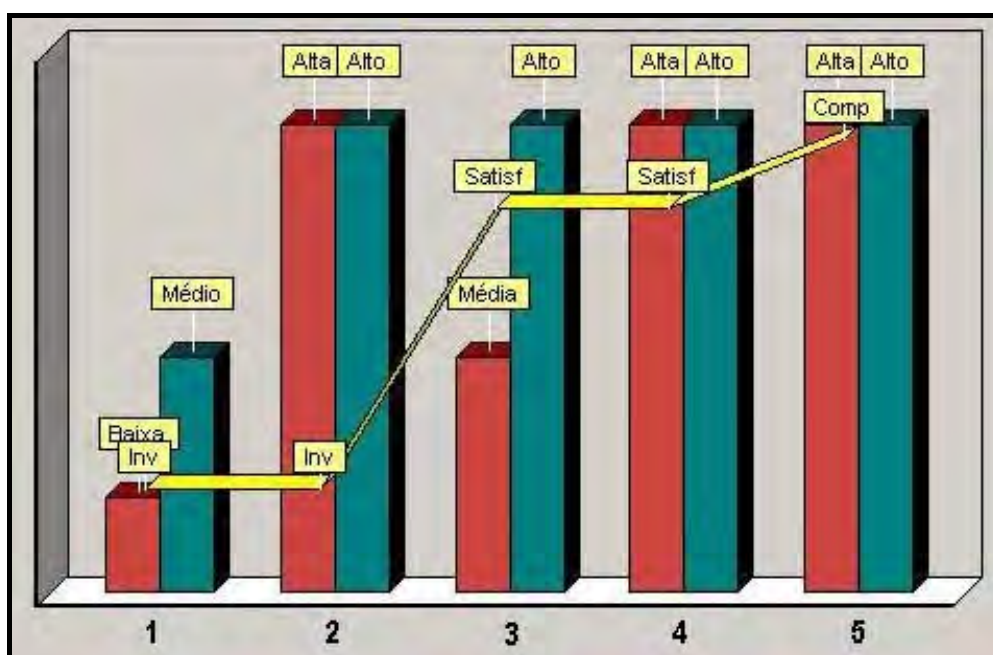


Figura 5.13: Gráfico de acompanhamento da negociação com o aluno A

No primeiro ciclo a credibilidade é média, o aluno declarou baixa autoconfiança e sua rede está inviável, a tática é indicar o problema (presença de ciclos ou nodos desconexos). No ciclo seguinte, o problema continua, embora o aluno tenha feito alterações sem hesitações (= credibilidade alta) e declarado alta a autoconfiança. Agora a tática utilizada é sugerir que o aluno reavalie a rede, pois a mesma não é uma rede bayesiana. No terceiro ciclo, o aluno atingiu uma rede satisfatória e baixou sua autoconfiança. A tática é discutir com o aluno, apresentando materiais sobre o tema, que

visam a aumentar sua autoconfiança, o que é atingido na etapa 4 (rede satisfatória, alta confiança e alta credibilidade). Quando a rede do aluno atinge a classificação satisfatória, o agente Mediador emite alertas para que o aluno não se esqueça de informar as probabilidades iniciais de cada nodo e as probabilidades condicionais. Neste momento o agente Mediador inicia a avaliação quantitativa da rede do aluno, comparando-a com uma base de casos reais. Mesmo assim o agente Mediador insiste em uma nova discussão apresentando mais materiais, até que a rede do aluno se torne completa, ou seja, atenda ao estudo de caso proposto, e o aluno tenha alta autoconfiança e tenha demonstrado autonomia em suas ações. Nesse momento, o processo de negociação é dado por encerrado pelo agente Mediador.

Observa-se que o aluno pode não chegar a uma rede exatamente igual à do especialista (como demonstrado na seção 5.2), já que o último ponto de negociação será avaliar a performance da rede do aluno e da rede do especialista, frente ao banco de casos reais, onde a rede do primeiro pode até mesmo apresentar uma performance melhor que a do especialista.

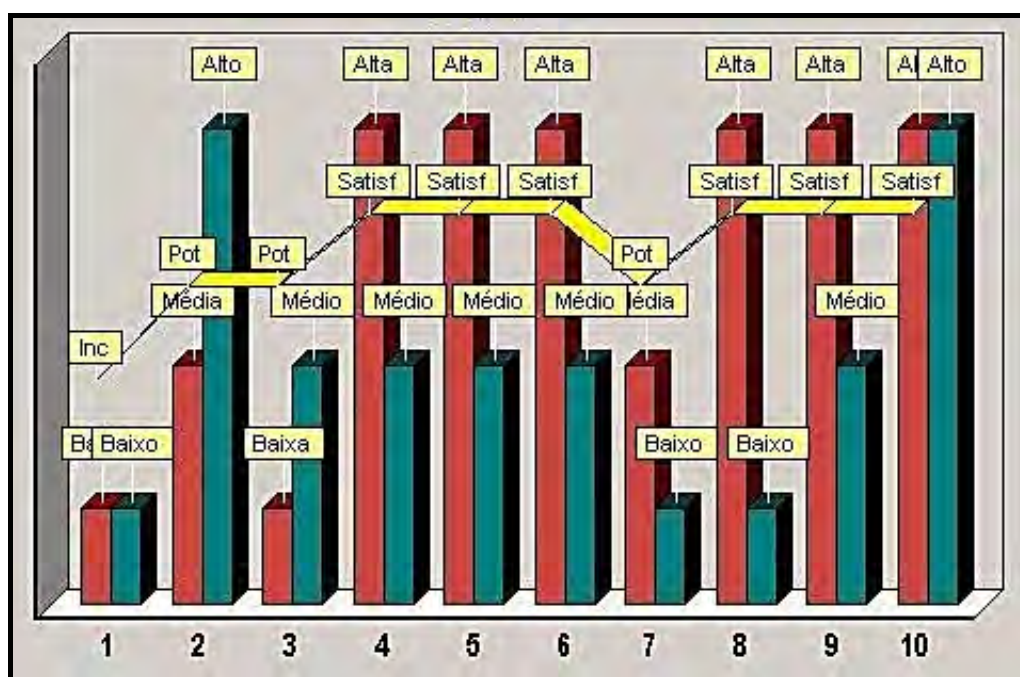


Figura 5.14: Gráfico de acompanhamento da negociação com o aluno B

No exemplo da figura 5.14, o aluno inicia com baixa confiança, baixa credibilidade e uma rede incorreta. A tática do agente Mediador é que o aluno teste a rede. No segundo ciclo, observa-se que o aluno corrigiu a rede sem dificuldades (rede potencial e credibilidade alta) e sua confiança passou para média. O agente Mediador inicia a negociação, afirmando que estão faltando nodos na rede e apresentando material para discussão. Pode-se afirmar que o aluno tentou melhorar a sua rede, mas com pouca certeza, ou seja, através de tentativa, o que pode ser observado no terceiro ciclo. A tática usada agora é a apresentação de um exemplo, para que o aluno verifique o que está faltando em sua rede. Observa-se o resultado no quarto ciclo, através da confiança alta e da rede satisfatória. A nova tática é perguntar ao aluno quais alterações ainda devem ser feitas na rede e/ou nas tabelas de probabilidades condicionais (quinto e sexto ciclo).

Observando o sétimo ciclo, a rede teve sua qualidade diminuída e a credibilidade está baixa: pode-se inferir que o aluno realizou várias tentativas que levaram à remoção de nodos importantes. Logo, o agente Mediador muda a sua tática, apresentando uma relação de nodos para que o aluno verifique o que está faltando. Essa tática surte efeito, pois a rede volta a ser satisfatória e a confiança do aluno aumenta (ciclo 8). A negociação continua, por mais dois ciclos, observa-se que as ações do aluno são cada vez mais seguras (credibilidade alta), porém, ao final do décimo ciclo de interação, o aluno abandona o processo. A rede do aluno já satisfaz o caso de estudo, porém a sua performance ainda é inferior à do especialista.

Os resultados obtidos nesses primeiros testes têm apresentado uma convergência com as observações feitas por um professor que acompanha seus alunos durante o processo de construção de seus modelos bayesianos. Isso significa que é provável que o professor use táticas e estratégias semelhantes às aquelas selecionadas pelo sistema. Em resumo, o modelo do aluno elaborado pelo professor é similar ao modelo construído no AMPLIA e as decisões tomadas pelo ambiente estão alinhadas às posições pedagógicas do professor.

5.4 Considerações Finais

Retomando a questão da relação entre um processo de ensino-aprendizagem mediado, derivado das práticas construtivistas de ensino, e a formulação apresentada no Capítulo 3 desta tese, é importante perceber que não há um conflito maior entre essas duas caracterizações do processo de ensino-aprendizagem, pelo fato desta última formulação:

- não se preocupar em definir *conhecimento* ou *transferência de conhecimento*, mas se ater apenas a conceitos mais operacionalizáveis e observáveis, tais como *expectativa* ou *grau de confiança* com que determinadas tarefas possam ser efetivadas e,
- porque também não define valores precisos e exatos para esses *graus de confiança*, mas apenas caracteriza uma inequação bastante óbvia num processo de ensino-aprendizagem que se está postulando ser mediado por um professor.

Neste último tipo de processo de ensino-aprendizagem, no início do processo é natural esperar que o aluno não tenha *certezas* (o que equivale a dizer que ele tem um grau de confiança baixo) em suas habilidades de julgar questões, resolver problemas ou, enfim, trabalhar sobre o tópico a ser estudado. Por outro lado, seria particularmente inútil classificar o outro agente neste processo como *professor* ou *mediador* de um processo de ensino-aprendizagem ou qualquer outro papel pedagógico similar, se o grau de confiança desse agente em suas capacidades de julgar assuntos relacionados ao tema de estudo ou ao próprio processo de ensino fosse menor ainda que o do aluno. Observa-se que não estamos dizendo que o agente de Domínio ou o Mediador *sabem* mais que o aluno, ele apenas *acredita* que consegue melhor julgar as situações sobre o tema. Se isto é verdade, ou se tem a ver com alguma caracterização filosófica do que é o saber ou o conhecimento, não vem ao caso numa primeira abordagem do problema. Apenas com o desenrolar do processo de ensino-aprendizagem é que essas expectativas podem se confirmar, ou não, e é só com a atuação do aluno depois desse processo, em situações reais, onde o *conhecimento* lhe será útil, que se pode ter uma caracterização real de quanto ele *aprendeu* ou não.

Quanto ao conjunto de expectativas iniciais de um agente para com o outro, pode-se realmente criticar que a pressuposição apresentada na Seção 3.2.3 é muito simplista, ou seja, pressupor uma alta confiança do aluno em relação ao professor e uma baixa confiança deste último em relação ao aluno não é uma situação razoável de se esperar em *todos* os processos de ensino-aprendizagem mediados por um professor. Pode ser uma situação bastante comum, mas não é necessariamente universal: alunos podem começar este processo muito desconfiados das habilidades do professor e, por outro lado, professores podem ter expectativas muito distintas de um aluno para outro quanto às capacidades destes de desempenhar determinadas tarefas, podendo muito bem ter uma expectativa muito alta nas capacidades de determinados alunos.

Para generalizar essa caracterização, pode-se prever total liberdade inicial para esses graus de confiança e ver a quais situações limites essa liberdade nos leva (pode ser uma das hipóteses de pesquisa). De maneira geral, pode-se assumir que o grau de confiança inicial do professor nas capacidades do aluno não deveria ser importante, isto é, o fato de o professor acreditar que o aluno tem boas possibilidades iniciais de resolver problemas ou trabalhar no assunto sendo estudado (ou o contrário) não deveria atrapalhar o restante do processo de ensino. O que realmente interessa é o grau de confiança atingido no final do processo. No máximo, essas expectativas iniciais poderiam servir de indicadores do tipo de atenção que o professor deveria dedicar a cada aluno ou do tipo de tática ou estratégia de ensino que deveria ser adotada para cada um deles.

Por outro lado, se o aluno não tem muita confiança no professor (ou no mediador), e se esta falta de confiança se mantém durante o processo, então essa situação poderá efetivamente inviabilizar o processo de ensino-aprendizagem num cenário mediado por professor. Não se quer dizer que o aluno não possa se desenvolver e assimilar o tema sendo estudado, independentemente do professor, apenas que o papel de professor (ou mediador) estaria sendo, no melhor caso, inútil e, no pior caso, adverso.

Dessa análise, pode-se apreender que, quando o cenário para o processo de ensino-aprendizagem pressupõe a mediação de um professor, é muito importante (1) que o aluno consiga atingir um alto grau de confiança no professor e (2) que um mesmo alto grau de confiança seja atingido na relação inversa, independentemente dos graus iniciais. Um ponto que deve ser destacado é que, atingir esses graus de confiança mútuos não é uma tarefa relacionada ao tema, mas é uma tarefa de cunho estritamente pedagógico e que requer um processo contínuo de negociação (pedagógica), para que se concretize e se mantenha.

É nesse ponto que entra o cenário mais refinado que está sendo utilizado no AMPLIA para caracterizar o processo de ensino-aprendizagem. No AMPLIA, o papel do professor “tradicional”, basicamente como repositório de conhecimento, está restrito ao agente de Domínio, enquanto o agente Mediador se responsabiliza pela negociação pedagógica entre o aluno e o agente de Domínio. Como não é possível inserir um aluno real dentro do sistema, o AMPLIA assume a existência de um agente artificial que o representa: o agente Aprendiz.

Todos esses agentes têm papéis específicos no processo de ensino-aprendizagem, quando se considera as questões relativas aos possíveis vínculos e graus de confiança existentes entre esses agentes.

O aluno é o agente humano que interage com o sistema, ele é o foco de atenção de todos os demais agentes (artificiais) do sistema e é dele que se espera, com o decorrer do processo de ensino-aprendizagem, que ocorra a assimilação do tema sendo estudado.

O papel do agente Aprendiz é representar o aluno, tentando inferir qual é o grau de confiança real do aluno no tópico de estudo do AMPLIA (ensino na área médica). Esse grau real de confiança é obtido não apenas perguntando-se diretamente ao aluno como ele se sente em relação ao tema (confiante, inseguro, etc.), mas também inferindo um grau mais preciso, através da observação de como o aluno constrói seu modelo de crenças (sua rede bayesiana) com relação problema sendo resolvido. Há um certo grau mínimo de autonomia no agente Aprendiz, desde que ela seja usada sempre em prol do aluno, no sentido de se adaptar da melhor forma possível os recursos e possibilidades do sistema às necessidades e características do aluno, por exemplo, guardando o perfil de uso do sistema, para facilitar a operação.

Já o papel do agente de Domínio é servir de avaliador do grau de aplicabilidade real de um dado modelo de crenças construído pelo aluno. Não que este agente seja o único possível avaliador da aplicabilidade de uma rede bayesiana, nem que seja construído como um agente não-adaptativo que apenas atribui um dado grau de aplicabilidade e nunca mais discute ou re-avalia (ou seja, negocia) esta decisão. Isto implica que suas expectativas em relação aos resultados da avaliação de um dado modelo de crença podem ser negociadas, ou que há alguma flexibilidade nessas expectativas. Para serem minimamente adaptativos, os limites para estas expectativas devem ser declarados e a forma como podem ser negociados também deve ser conhecida de todos. Para ser realmente adaptativo, a própria forma de avaliação da aplicabilidade de uma rede deste agente também poderia ser questionada. Em confronto com uma avaliação diferente (gerada por outro especialista, ou resultado da comparação com casos reais) o agente de Domínio idealmente deveria tomar tal fato em conta e, pelo menos para este caso, mudar seu processo de avaliação.

Numa primeira abordagem, poder-se-ia pensar que o papel do agente Mediador como negociador deve ser visto em dois casos básicos: não só resolvendo conflitos de avaliação entre o agente Mediador e o aluno (representado pelo agente Aprendiz), mas também sugerindo, a qualquer um dos outros agentes (ou ao aluno humano), novas formas de conduzir o processo de ensino-aprendizagem (novos desafios, informações complementares, conselhos, etc.). No entanto, nos dois casos devem ser selecionadas e utilizadas estratégias e, dentro delas, táticas pedagógicas para resolver o conflito em questão. O processo de inferência que faz a seleção destas táticas e estratégias se baseia nas informações dos outros agentes, isto é, usa as informações sobre o grau de confiança declarado pelo aluno e o inferido pelo agente Aprendiz, além das informações sobre a aplicabilidade da rede bayesiana do aluno, que foram determinadas pelo agente de Domínio, para decidir qual a próxima tática a ser empregada (ver seção 4.2.3, que mostra como o raciocínio probabilístico, baseado em diagramas de influência, pode ser usado para modelar esse processo de inferência).

Para a escolha de uma tática/estratégia pedagógica, o agente Mediador empreende uma série de ações de comunicação com os outros agentes do AMPLIA.

A diferença entre os dois tipos de caso se dá apenas em como o agente Mediador entra em ação: se solicitado ou se a partir da observação da interação entre os demais agentes. O final da intervenção, entretanto, não seria necessariamente diferente: uma vez que uma nova tática/estratégia é selecionada, e que suas ações de comunicação correspondentes são executadas, o agente Mediador volta a um estado *passivo*. Se as

ações são realmente bem sucedidas e se, com isto, tanto o comportamento do aluno como o comportamento do agente de Domínio modificarem-se de forma a não haver mais conflitos, o agente Mediador simplesmente não será mais requisitado para resolver conflitos. Por outro lado, nada impede que, observando a interação entre os outros agentes, o agente Mediador venha a interferir novamente se achar necessário.

A questão aqui é decidir quando essa interação de mediação é necessária. É nessa questão que o processo de ensino-aprendizagem, visto como um processo que busca maximizar as expectativas entre os agentes, pode oferecer uma visão bastante clara de quando a interferência deve ser feita: quando o grau de expectativa que pode ser observado tanto do lado do aluno quanto do agente Mediador em relação ao outro participante cair abaixo de um patamar aceitável ou permanecer muito tempo sem evoluir para um patamar mais alto. Os valores exatos de patamares e os tempos que devem ser esperados dependem de uma modelagem precisa da negociação, não sendo, de maneira nenhuma, passíveis de uma estimativa trivial, porém, numa primeira abordagem do problema, foram considerados como razoavelmente bem estimados para que se pudesse dar prosseguimento à discussão.

Para que este modelo de mediação possa realmente ser usado, é necessário definir como o grau de confiança pode ser estabelecido, não apenas entre um agente e outro (ou em relação a si mesmo), mas também como um terceiro agente poderia perceber o grau de confiança entre dois outros agentes (não basta apenas perguntar sobre esse grau, porque os agentes podem simplesmente não saber responder ou até mesmo mentir).

No caso do AMPLIA, esse problema pôde ser resolvido de forma satisfatória, porque existem informações suficientes e instrumentos analíticos efetivos para se medir as expectativas que os agentes possuem em relação ao comportamento um do outro e em relação a si mesmos. O agente Aprendiz tem informações suficientes, obtidas pela interação direta e pela observação do comportamento do aluno, para inferir esse grau de confiança. Como visto anteriormente, o agente de Domínio não só deve proferir avaliações sobre a aplicabilidade de uma rede bayesiana do aluno, mas também deve ter um grau declarado de confiança nesta avaliação (algo que possa ser negociado). O agente Mediador deve usar todas essas informações em conjunto com seu modelo probabilístico de escolha de estratégias e táticas para decidir quando é necessário aplicar uma nova tática/estratégia e qual seria ela. Além disso, o agente Mediador deve estar continuamente observando a interação entre os demais agentes, para detectar novas situações onde tenha que interferir.

6 CONCLUSÃO

Finalizando, mostra-se a seguir uma visão geral do trabalho, objetivando apresentar as contribuições geradas. Posteriormente, serão comentadas algumas possibilidades de trabalhos futuros.

6.1 Visão Geral da Tese

Este trabalho teve início a partir da seguinte questão de pesquisa:

- A negociação é útil em um processo de ensino-aprendizagem? Ou seja, tem alguma utilidade a implementação de um mecanismo de negociação pedagógica?

Partindo desses questionamentos, foram levantadas algumas limitações pedagógicas existentes em sistemas tutores inteligentes tradicionais que vêem a aprendizagem como um processo de transferência de conhecimento, ou seja, o papel do aluno está em explorar e assimilar apenas o conhecimento especialista embutido no sistema, sem ter a oportunidade de construir seus próprios conhecimentos.

Este trabalho apresentou um ambiente de aprendizagem multiagente que faz uso de dois conceitos-chave que permeiam a idéia de negociação em um processo de ensino-aprendizagem, que são: simetria entre homem e máquina e existência de espaços de negociação. A intenção do grupo de pesquisa foi desenvolver um ambiente de aprendizagem multiagente em que diversos alunos pudessem interagir simultaneamente com o sistema e entre si. Para isso era necessário aprofundar os conhecimentos sobre a maneira como a interação entre os alunos e os agentes que formam o ambiente seria organizada. Como se tratava de um ambiente de ensino-aprendizagem, os agentes deveriam possuir quatro características principais: serem autônomos, cognitivos, cooperativos e heterogêneos. O ponto chave a ser destacado era que a coordenação deveria ser realizada por meio de uma negociação. Entretanto, essa negociação deveria ser diferente daquela que está baseada na Teoria de Mercado, onde é necessária a presença de conflito. Em um ambiente de ensino-aprendizagem, basta existir o objetivo comum de se alcançar um acordo, em relação a um objeto de negociação. Uma nova nomenclatura sobre formas de coordenação de agentes nos ofereceu a definição de *negociação cooperativa*, cujas características vieram ao encontro de nosso objetivo. (Seção 2.1)

Como o objeto de negociação era o conhecimento (a crença) sobre determinado estudo de caso clínico (onde o conhecimento poderia ser representado por modelos causais), a linguagem de representação escolhida para a interação entre o homem e a máquina foi a das redes bayesianas. Com isso, os agentes de software do ambiente AMPLIA também poderiam representar seus estados mentais (crenças e intenções) com redes probabilísticas, mesmo porque as informações trocadas entre os agentes teriam um forte conteúdo incerto e probabilístico. Por essas razões, optou-se pela modelagem de Agentes Baseados em Redes Probabilísticas (Seção 2.2).

A primeira idéia que vem a mente quando se pensa em negociação é o vínculo que a mesma tem com os conceitos abordados pela Teoria dos Jogos e Teoria de Mercado.

Sentimos a necessidade de realizar uma análise criteriosa sobre os diferentes modelos de coordenação para a negociação. Dentre os modelos baseados na teoria dos jogos, em modelos heurísticos e em argumentação, identificamos maior utilidade no último, pois era o que mais se aproximava do objetivo proposto para esta tese. Ou seja, a argumentação era algo imprescindível a um ambiente de ensino-aprendizagem em que houvesse interação entre o aluno e o sistema para a construção colaborativa de conhecimento (Seção 2.3).

O processo de negociação requer uma considerável simetria entre as partes e também a existência de espaço de negociação. Por essa razão, foi necessário buscar as características necessárias em ambientes de ensino-aprendizagem colaborativo que permitissem implantação efetiva de mecanismos de negociação. (Seção 2.4)

Outro ponto que teve que ser considerado foi a natureza do objeto de negociação. Como se tratava de um ambiente de ensino-aprendizagem destinado a apoiar alunos de medicina a pôr em prática o desenvolvimento de seu raciocínio diagnóstico, o objeto de negociação do ambiente AMPLIA apresentava as características necessárias para a implantação de mecanismos de negociação pedagógica. Dentre elas, podemos citar: conhecimento incompleto, diferentes pontos de vista (crenças) sobre o conhecimento, necessidades, múltiplas soluções e construção do conhecimento. (Seção 3.2)

6.2 Contribuições

As contribuições desta tese podem ser resumidas na elaboração do modelo de um processo de negociação pedagógica baseada na argumentação (Capítulos 3 e 5) e de uma arquitetura de agentes probabilísticos em um ambiente de ensino-aprendizagem (Capítulo 4).

No domínio da negociação, esta tese contribui em dois aspectos principais. Primeiramente, provê reflexões quanto à generalização de conceitos trazidos da Teoria de Mercado para os processos de ensino-aprendizagem (Capítulo 3). A negociação pedagógica do ambiente amplia está baseada na confiança entre os agentes (humanos e artificiais). A noção de confiança adotada está voltada a uma expectativa de atos futuros de um agente, ou seja, o processo de ensino-aprendizagem é visto como uma maneira de redução (ou eliminação) da assimetria inicial na relação de confiança que professor e aluno têm sobre o tema que está sendo ensinado.

O segundo aspecto é que o AMPLIA apresenta um modelo de negociação baseado em argumentação aplicada à aprendizagem colaborativa. Quanto às discussões argumentativas, o AMPLIA apresenta uma abordagem aberta prevendo que os desacordos entre as decisões tomadas pelos envolvidos no processo possam ser resolvidos através de ações pró-ativas, com o propósito de levar os participantes a rever suas crenças e, conseqüentemente, suas decisões. Embora não seja utilizado o processamento de língua natural como forma de comunicação, a compreensão entre as partes não é prejudicada, visto que o objeto a ser negociado constitui o conhecimento sobre o raciocínio diagnóstico de um estudo de caso e este está modelado por redes bayesianas (seção 2.2), modelagem esta compreendida por todos os agentes (humanos e artificiais).

No domínio das discussões argumentativas apoiadas por redes bayesianas, o AMPLIA provê um *framework* para: (i) observação do comportamento do aluno em interações argumentativas e (ii) observação das discussões sobre o uso de mecanismos de negociação em ambientes educacionais.

Resumindo, a principal contribuição científica deste trabalho localiza-se na área de sistemas computacionais de ensino e aprendizagem, especificamente na relação entre a negociação (pedagógica com inspiração construtivista) e as interações argumentativas, que acontecem entre alunos humanos e agentes artificiais, suportada por conhecimento representado em redes bayesianas.

A arquitetura dos agentes constitui outra contribuição deste trabalho (Capítulo 4). Ela está dividida em três diferentes níveis: nível de decisão, nível operacional e nível de interação. Os agentes são heterogêneos, portanto cada um desempenha um determinado papel na sociedade de agentes e são ABRP, ou seja, sua arquitetura interna é composta por mecanismos de inferência probabilística.

6.3 Trabalhos Futuros

Algumas tarefas poderiam ser úteis para complementar este trabalho, entre elas:

- Desenvolver uma semântica para a negociação das probabilidades associadas às redes probabilísticas, entre os agentes do AMPLIA e o aluno. Consideramos este tópico importante para que a proposta da negociação pedagógica num ambiente que modela o conhecimento através do uso de redes probabilísticas se complete. Elementos para a definição formal deste processo podem ser vistos em (GLUZ, 2005). Gluz, em sua tese de doutorado, apresenta uma proposta para a inclusão, na linguagem de comunicação de agentes ACL e na plataforma de gerenciamento de agentes FIPA-OS, de elementos que permitem a comunicação de probabilidades em sistemas multiagente.
- Associar ao editor gráfico de redes bayesianas outros mecanismos que permitam maior flexibilidade no processo de argumentação do aluno com o sistema AMPLIA. Por exemplo, elementos gráficos que permitam ao aluno informar o seu grau de aceitação/rejeição das argumentações e sugestões, apresentadas pelo sistema, através do uso das atuais estratégias e táticas pedagógicas existentes no ambiente.
- Por fim, apresentar uma proposta de trabalho futuro operacional, ou seja, o uso de ferramentas como, por exemplo, o BNJ3 (<http://bnj.sourceforge.net/>), que é um editor de redes bayesianas escrito em JAVA e que é capaz de gerar diretamente um arquivo XML com a rede criada pelo usuário. A utilização dessa ferramenta eliminaria a necessidade do uso da biblioteca de comunicação FACIL e permitiria transformar o AMPLIA em uma aplicação WEB.

Em outro nível, uma análise detalhada dos testes práticos do AMPLIA, que estão em andamento com especialistas e com alunos, irá possibilitar uma avaliação mais detalhada tanto da performance do sistema computacional como da adequação do mesmo para ser utilizado por especialistas. Estes poderão gerar estudos de caso, como os que estão sendo utilizados por alunos em a sua formação regular, e que já disponíveis no AMPLIA.

REFERÊNCIAS

- ADLER, M.R. et al. Conflict-resolution Strategies for Nonhierarchical Distributed Agents. In: **Distributed Artificial Intelligence**. London: Pitman Publishing, 1990. v. 2, p. 139-161.
- ALLWOOD, J. et al. On the Semantics and Pragmatics of Linguistic Feedback. **Journal of Semantics**, Sweden, v. 9, n. 1, 1993. Disponível em: <<http://www.ling.gu.se/~jens/publications/B%20files/B33.pdf>>. Acesso em: 04jul.2005.
- ANDREASSEN, V. et al. MUNIN – An expert EMG assistant. In: DESMEDT, J.E. (Ed.). **Computer-Aided Electromyography and Expert Systems**. Amsterdam: Elsevier Science, 1989. p. 255-277.
- BAKER, M.J. A model for negotiation in teaching-learning dialogues. **Journal of Artificial Intelligence in Education**, USA, v. 5, n. 2, 1994. p. 199-254.
- BAKER, M.J. Argumentation and Constructive Interaction. In: RIJLAARSDAM, G.; ESPÉRET, E. (Ed.). **Studies in Writing**. Amsterdam : University of Amsterdam Press, 1999. p. 179-202. Disponível em: <<http://www.vjf.cnrs.fr/umr8606/FichExt/mbaker/publications/ArticlesBakerPDF/1999/1999a.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2005.
- BAKER, M.J. Modelling Negotiation in Intelligent Teaching Dialogues. In: ELSOM-COOK, M.; MOYSE, R. (Ed.). **Knowledge Negotiation**. London : Paul Chapman Publishing, 1992. p. 199-240.
- BAKER, M.J. The function of argumentation dialogue in cooperative problem-solving. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARGUMENTATION, ISSA, 4, 1998. **Proceedings...** Amsterdam: SIC SAT Publications, 1998.
- BANERJEE, B. et al. Using Bayesian Network to aid Negotiations among Agents. In: WORKING NOTES OF THE AAAI-99 WORKSHOP ON NEGOTIATION: SETTLING CONFLICTS AND IDENTIFYING OPPORTUNITIES. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1999. p. 44-49. Disponível em: <http://www.agent.ai/doc/upload/200406/bane99_1.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2005.
- BELHOT, R.V. Searching for New Ways of teaching. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENGINEERING EDUCATION, ICEE, 1998. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.ime.eb.br/icee98/pappers/232.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2005.
- BUNT, H.C. Information dialogues as communicative action in relation to partner modelling and information processing. In: TAYLOR, M.M.; NÉEL, F.; BOUWHUIS, D.G. (Ed.). **The Structure of Multimodal Dialogue**. [S.l.] : Elsevier Sciences Publishers, 1989. p. 47-74.
- CASTELFRANCHI, C.; FALCONE, R.; PEZZULO, G. Belief Sources for Trust: Some Learning Mechanisms. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON TRUST, PRIVACY, DECEPTION AND FRAUD IN AGENT SYSTEMS, 6., 2003. **Proceeding...** Melbourne : [s.n.], 1998. p. 101-106.

- CASTELFRANCHI, C.; FALCONI, R. Principles of Trust for MAS: Cognitive Anatomy, Social Importance, and Quantification. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS, ICMAS, 3., 1998, Paris. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1998.
- CIANCARINI, P. Coordination Models and Languages as Software Integrators. **Computing Surveys**, New York, v. 28, n. 2, p. 300-302, June 1996.
- CLANCEY, W.J. "**Situated**" Means Coordinating Without Deliberation. Santa Fé, New Mexico: Mcdonnell Foundation Conference, 1992.
- COLLINS, A. et al. Cognitive apprenticeship: teaching the craft of reading, writing and mathematics. In: RESNICK, L.B. (Ed.). **Cognition and Instruction: Issues and Agendas**. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1989. p. 453-494.
- COLLINS, A.; STEVENS, A.L. A Cognitive Theory of Inquiry Teaching. In: REIGELUTH, C. M. (Ed.). **Instructional-Design Theories and Models: An Overview of their Current Status**. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, 1983. p. 247-278.
- COMISSÃO NACIONAL DE RESIDÊNCIA MÉDICA (CNRM). Resolução 005/2002. Art. 9º, § 1º. Brasil. Disponível em: <http://www.anamt.org.br/downloads/resolucao_05.html> Acesso em: 23 jul. 2003.
- CUMMING G.; SELF J. Collaborative Intelligent Educational System. In: AI AND EDUCATION CONFERENCE, 4., 1989, Amsterdam. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1989. p. 73-80.
- DALAL, P.N.; KASPER, G.M. The design of joint cognitive systems: the effect of cognitive coupling on performance. **International Journal of Human-Computer Studies**, MN, USA, v. 40, n. 4, p. 677-702, 1994.
- DILLENBOURG, P. et al. The evolution of research on collaborative learning. In: SPADA, E.; REIMAN, P. (Ed.). **Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science**. Oxford: Elsevier. 1995. p. 189-211.
- DILLENBOURG, P.; BAKER, M. Negotiation spaces in Human-Computer Collaborative Learning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COOPERATIVE SYSTEMS, COOP, 1996, França. **Proceedings...** Juan-Les-Pins: INRIA, 1996. p. 187-206.
- DOUGLAS, S.A. Tutoring as Interaction: Detecting and Repairing Tutoring Failures. In: GOODYEAR, P. (Ed.). **Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring**. Norwood, NJ: Ablex, 1991. p. 123-148.
- EEMEREN, F.; GROOTENDORST, R. **Speech Acts In Argumentative Discourse**. Dordrecht, Holland: Foris, 1984.
- FARATIN, P.; SIERRA, C.; JENNINGS, N.R. Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents. **Int. Journal of Robotics and Autonomous Systems**, [S.l.], v. 24, n. 3-4, p. 159-182, 1998. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/faratin98negotiation.html>>. Acesso em: 5 jul. 2005.
- FIPA. **SC00001L**: Abstract Architecture Specification. [S.l.], 2003. Disponível em: <<http://www.fipa.org/specs/fipa00001/>>. Acesso em: 27 abr. 2003.
- FISCHER, G. et al Critics: an emerging approach to knowledge-based human-computer interaction. **International Journal of Man-Machine Studies**, [S.l.], v. 35, n.5, p. 695-721, 1991.

- FISCHER, M.; GHIDINI, C. The ABC of Rational Agent Modelling. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS & MULTIAGENT SYSTEMS, AAMAS, 1., 2002, Bologna. **Proceedings...** Bologna: ACM, 2002.
- FLORES, C.D.; GLUZ, J.C.; SEIXAS, L.M.J.; VICARI, R.M. AMPLIA Learning Environment: A Proposal for Pedagogical Negotiation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS, ICEIS, 6., 2004, Porto. **Proceedings...** Setúbal: Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, 2004. p. 279-286.
- FLORES, C.D.; GLUZ, J.C.; SEIXAS, L.M.J.; VICARI, R.M.; COELHO, H. Projeto AMPLIA – Uso da Informática na Educação Médica. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA MÉDICA, 3., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UNIFOR, 2003.
- FLORES, C.D.; GLUZ, J.C.; SEIXAS, L.M.J.; VICARI, R.M.; COELHO, H. Pedagogical Negotiation in AMPLIA Environment. In: ARGENTINE SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ASAI, 5., 2003, Tandil. **Proceedings...** Buenos Aires: SADIO, 2003. p. 1-10.
- FLORES, C.D.; HÖHER, C.L.; LADEIRA, M.; VICARI, R.M. Una experiencia en el uso de redes probabilísticas para el diagnóstico médico: Una experiencia brasileira. **Informatic@ Médica**, Argentina, v. 8, n. 8, p. 25-29, 2001.
- FLORES, C.D.; SEIXAS, L.M.J.; GLUZ, J.C.; PATRÍCIO, D.; GIACOMEL, F.; GONÇALVES, L.; VICARI, R.M. AMPLIA Learning Environment Architecture. In: WORKSHOP ON ARCHITECTURES AND METHODOLOGIES FOR BUILDING AGENT-BASED LEARNING ENVIRONMENTS, 1., 2004, São Luis. **Proceedings...** São Luis: UFMA, 2004.
- FLORES, C.D.; SILVESTRE, A.; SEIXAS, L.; VICARI, R.M. Processo de negociação em um ambiente de aprendizagem inteligente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, CBCOMP, 2., 2002, Itajaí. **Anais...** Itajaí: UNIVALI, 2002.
- FOX, B.A. Cognitive and Interactional Aspects of Correction in Tutoring. In: GOODYEAR, P. (Ed.). **Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring**. Norwood, NJ: Ablex, 1991. p. 149-172.
- FRANKLIN, R. et al. Combining clinical judgment and statistical data in expert systems: over the telephone management decisions for critical congenital heart disease in the first month of life. **International Journal of Clinical Monitoring and Computing**, Netherlands, v. 6, n. 3, p.157-166, 1989.
- GALLIERS, J.R. **A Theoretical Framework for Computer Models of Cooperative Dialogue, Acknowledging Multi-Agent Conflict**. 1989. PhD thesis. Human Cognition Research Laboratory, The Open University, GB.
- GLUZ, J. C. **Formalização de Comunicação de Conhecimentos Probabilísticos em Sistemas Multiagentes: Uma Abordagem Baseada em Lógica Probabilística**. 2005. 237 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- GLUZ, J. C. **Linguagens de Comunicação entre Agentes: Fundamentos e Propostas de Padronização**. 2002. Trabalho Individual (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.

- GLUZ, J.C.; VICARI, R.M. Linguagens de Comunicação entre Agentes: Fundamentos, Padrões e Perspectivas. In: JORNADA DE MINI-CURSOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, 3., 2003, Campinas. **Livro texto**. Campinas: SBC, 2003. p. 53-102.
- HECKERMAN, D. et al. Towards normative experts systems: Part I. The Pathfinder Project. **Methods of Information in Medicine**, [S.l.], v. 31, p.90-105, 1992.
- HUHNS, M.; STEPHENS, L. M. Multiagent Systems and Societies of Agents. In: WEISS, G. (Ed.). **Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. Cambridge: MIT Press, 1999. p. 121-164.
- INHELDER, B.; CELLERIER, G. **O desenrolar das descobertas da criança: um estudo sobre as microgêneses cognitivas**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- JENNINGS, N. et al. Automated negotiation: prospects, methods and challenges. **International Journal of Group Decision and Negotiation**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 199-215, 2001.
- JENNINGS, N. R. On agent-based software engineering. **Artificial Intelligence**, [S.l.], v.117, n. 2, p.277-296, 2000.
- JENSEN, F.V.; OLSEN, K.G.; ANDERSEN, S.K. An Algebra of Bayesian Belief Universes for Knowledge-Based Systems. **Networks**, [S.l.], v.20, p.637-659, 1990.
- KRAUS, S. **Strategic Negotiation in Multiagent Environments**. Cambridge: MIT Press, 2001.
- KRAUS, S.; LEHMANN, D. Designing and building an automated negotiation agent. **Computational Intelligence**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 132-171, 1995.
- LAVE, J.; WENGER, E. **Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation**. Pittsburg, USA: Institute for Research on Learning, 1989. (Report n. IRL 89-0013).
- LESSER, V. Cooperative Multi-Agent Systems: A Personal View of the State of the Art. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, v. 11, n. 1, p. 133-142, 1999.
- LESSER, V.; CORKILL, D. Distributed Problem Solving. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D. (Ed.). **Encyclopedia of Artificial Intelligence**. New York: John Wiley, 1987. p. 245-251.
- LEWIS, H.R.; PAPADIMITRIOU, C.H. **Elements of the Theory of Computation**. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- LOMUSCIO, A.R.; WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N.R. A classification scheme for negotiation in electronic commerce. In: DIGNUM, F.; SIERRA, C. (Ed.). **Agent-Mediated Electronic Commerce: A European Perspective**. Springer Verlag, 2000. p. 19-33.
- MAES, P. Modeling adaptive autonomous agents. **Artificial Life Journal**, [S.l.], v. 1, n. 1-2, p. 135-162, 1994.
- MATOS, F.G. **Negociação gerencial: aprendendo a negociar**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1985. 426p.
- MAYO, M.; MITROVIC, A. Optimising ITS behaviour with Bayesian networks and decision theory. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, International AIED Society, [S.l.], v. 12, p. 124-153, 2001.
- MIYAKE, N. Constructive Interaction and the Iterative Process of Understanding. **Cognitive Science**, [S.l.], v. 10, p. 151-177, 1986.

- MÖBUS, C. Towards an Epistemology on Intelligent Problem Solving Environments: The Hypothesis Testing Approach. In: WORLD CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EDUCATION, AI-ED, 1., 1995, Washington, DC. **Proceedings...** Washington: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 1995. p. 138-145.
- MORAES, M. C.; COSTA, A. C. Structuring the Coordination Space of Multiagent Systems. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE LA SOCIEDAD CHILENA DE CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN, 23., 2003, Chillán. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2003.
- MOYSE, R. VIPER: The Design and Implementation of Multiple Viewpoints for Tutoring Systems. In: ELSOM-COOK, M.; MOYSE, R. (Ed.). **Knowledge Negotiation**. London: Paul Chapman Publishing, 1992. p. 97-134.
- MOYSE, R.; ELSOM-COOK, M. **Knowledge Negotiation**. London : Academic Press, 1992.
- MUDGAL, C.; VASSILEVA, J. Bilateral Negotiation with Incomplete and Uncertain Information. In: KLUSCH, I.; KERSH, I. (Ed.). **Cooperative Information Agents IV**. [S.l.]: Springer-Verlag, 2000. p. 107-118. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1860).
- NAKAYAMA, L.; ALMEIDA, V.N.; VICCARI, R.M. Information Retrieval for Distance Learning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, 7.; DISTANCE LEARNING ENVIROMENTS FOR DIGITAL GRAPHICS REPRESENTATION, LEDGRAPH WORKSHOP, 1., 2004, Maceió. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2004. p. 45-53.
- NAKAYAMA, L.; VICCARI, R. M.; COELHO, H. An Information Retrieving Service for Distance Learning. **Transactions On Internet Research**, [S.l.], v. 1, p. 49-56, 2005.
- PARSONS, S.; JENNINGS, N. Argumentation and multi-agent decision making. In: AAAI SPRING SYMPOSIUM ON INTERACTIVE AND MIXED-INITIATIVE DECISION MAKING, 1998, Stanford. **Proceedings...** [S.l: s.n.], 1998. p. 89-91.
- PEARL, J. Belief Networks Revisited. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v.59, p.49-56, 1993.
- PIAGET, J. **A Tomada de consciência**. São Paulo: Melhoramentos: EDUSP, 1977.
- PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. [L'Épistémologie Génétique, 1970]. Petrópolis: Vozes, 1971.
- PIAGET, J. **Fazer e compreender**. São Paulo: Melhoramentos: EDUSP, 1978.
- QUIGNARD, M. A Collaborative Model of Argumentation in Dyadic Problem-Solving Interactions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR THE STUDY OF ARGUMENTATION, ISSA, 5., 2002, Amsterdam. **Proceedings...** Amsterdam: SIC SAT, 2002. Disponível em: <<http://www.loria.fr/~quignard/publis/Q-ISSA2002.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2003.
- ROGOFF, B. **Apprenticeship in thinking**: Cognitive development in social context. New York: Oxford University Press, 1990.
- ROLF, B.; MAGNUSSON, C. Developing the art of argumentation, a software approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL

- SOCIETY FOR THE STUDY OF ARGUMENTATION, ISSA, 5., 2002, Amsterdam. **Proceedings...** Amsterdam: SIC SAT, 2002.
- ROSCELLE, J.; CLANCEY, W.J Learning as Social and Neural. **The Educational Psychologist**, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 435-453, 1992. Disponível em: <<http://cogprints.org/685/00/122.htm>>. Acesso em: 21 abr. 2003.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: a Modern Approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1995. 932p.
- SANDHOLM, T.W. Distributed Rational Decision Making. In: WEISS, G. (Ed.). **Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. Cambridge: The MIT Press, 1999. p.79-120.
- SCHWARZ, B.B. et al. Effects of argumentative activities on collective and individual arguments. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER-SUPPORTED COLLABORATIVE LEARNING, EURO-CSCL, 2001, Maastricht. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2001.
- SEARLE, J.R. **Speech Acts**. Cambridge: [s.n.], 1970.
- SEELY-BROWN, J.S. Toward a New Epistemology of Learning. In: FRASSON, C.; GAUTHIAR, J. (Ed.). **Intelligent Tutoring Systems at the Crossroads of AI**. Norwood, N.J.: Ablex Publishing, 1990. p. 266-282.
- SEIXAS, L.M.J. ; FLORES, C.D.; GLUZ, J.C.; VICARI, R.M. Acompanhamento do processo de construção do conhecimento por meio de um agente probabilístico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, SBIE, 2004. **Anais...** Manaus, AM : EDUA, 2004. v. 1, p. 31-40.
- SEIXAS, L.M.J.; FLORES, C.D.; GLUZ, J.C.; VICARI, R.M.; COELHO, H. Agente mediador para seleção de estratégias pedagógicas em um ambiente multiagente de aprendizagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, SBIE, 2003. **Anais...** Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, NCE-IM, 2003. p. 533-542.
- SEIXAS, L.M.J.; FLORES, C.D.; LADEIRA, M.; VICARI, R.M. An architecture for an intelligent learning environment with a constructivist approach. In: WORKSHOP ARCHITECTURES AND METHODOLOGIES FOR BUILDING AGENT-BASED LEARNING ENVIRONMENTS, 2002. **Proceedings...** San Sebastian (Spain): Université de Pau et des Pays de l'Adour e Universidad del Pais Vasco, 2002. p. 08-15.
- SELF, J. Computational Viewpoints. In: MOYSE; ELSOM-COOK (Ed.). **Knowledge Negotiation**. London: Paul Chapman Publishing, 1992. p. 21-40.
- SEN, S.; WEISS, G. Learning in Multiagent Systems. In: WEISS, G. (Ed.). **Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. Cambridge: The MIT Press, 1999. p.259-298.
- SEVERINO, L.C. Evaluación de estrategias retóricas en la comprensión de manuales universitarios. **Revista del Instituto de investigaciones lingüísticas y literarias hispanoamericanas**, Argentina, n. 15, 2002. Disponível em: <<http://www.fu-berlin.de/adieu/vazquez/CUBO%20DE%20SEVERINO.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2005.
- SHACHTER, R. Evaluating Influence Diagrams. **Operations Research**, [S.l.], v.34, n.6, p.871-882, 1986.
- SIERRA, C.; FARATIN, P.; JENNINGS, N.R. A Service-Oriented Negotiation Model between Autonomus Agents. In: EUROPEAN WORKSHOP ON MODELLING

- AUTONOMOUS AGENTS IN A MULTI-AGENT WORLD, 8., 1997, Ronneby. **Proceedings...** Ronneby, Sweden: [s.n.], 1997. p.17-35.
- SILVESTRE A. M. **Raciocínio Probabilístico Aplicado ao Diagnóstico de Insuficiência Cardíaca Congestiva (ICC)**. 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- SLEEMAN, D.; BROWN, J.S. **Intelligent Tutoring Systems**. London: Academic Press, 1982.
- SYCARA, K. Multi-agent compromise via negotiation. In: GASSER, L.; HUHNS (Ed.). **Distributed Artificial Intelligence**. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1989. v. 2, p. 119-139.
- TERVEEN, L.G. Intelligent systems as cooperative systems. **International Journal of Intelligent Systems**, Amsterdam, v. 3, n. 2-4, p. 217-250, 1993.
- VASSILEVA, J. et al. A Multi-Agent Approach to the Design of Peer-Help Environments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION, AIED, 9., 1999, Le Mans. **Proceedings...** Le Mans, France: [s.n.], 1999. p. 38-45. Disponível em: <<http://julita.usask.ca/Texte/AIED99.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2001.
- VEERMAN, A. Computer-Supported Collaborative Learning through Argumentation. [S.l.] : [s.n.], 2000. Disponível em: <<http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/1908992/inhoud.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2003.
- VICARI, R.M.; FLORES, C.D.; SEIXAS, L.; SILVESTRE, A.; LADEIRA, M.; COELHO, H.A Multi-Agent Intelligent Environment for Medical Knowledge. In: **Artificial Intelligence in Medicine**, [S.l.], v. 27, n. 3 , p. 335-366, Mar. 2003..
- WENGER, E. **Artificial Intelligence and Tutoring Systems**. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1987.
- WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to Multi-Agent Systems**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2002.
- WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. Pitfalls of Agent-Oriented. Development. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, Agents, 2., 1998, St. Paul. **Proceedings...** New York : ACM Press, 1998. p. 385-391. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=280765.280867>>. Acesso em: 4 jun. 2001.
- ZHANG, X; PODOROZHNY, R.; LESSER, V. Cooperative, MultiStep Negotiation Over a Multi-Dimensional Utility Function. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SOFT COMPUTING, ASC, 2000, Banff. **Proceedings...** Banff, Canada: IASTED/ACTA Press, 2000. p.136-142.
- ZLOTKIN, G.; ROSENCHIN, J. Mechanism design for automated negotiation and its application to task oriented domains. **Artificial Intelligence**, [S.l.], v.86, n. 2, p.195-244, 1999.

ANEXO A ANÁLISE EMPÍRICA DAS EQUAÇÕES DE P(NODOS) E P(ARCOS)

Neste anexo é apresentado o estudo piloto realizado com alunos da UFPel. Os alunos foram convidados a construir um modelo bayesiano baseado em um caso de estudo previamente proposto. A partir do *log* gerado pelo editor, foi possível analisar as ações de seis alunos, buscando inferir o nível de tomada de consciência (PIAGET, 1978) e a conseqüente seleção da provável estratégia pedagógica mais apropriada para cada caso.

As ações dos alunos estão descritas abaixo:

- *Aluno 1* – Coloca vários nodos na tela, inclusive nodos desnecessários. Faltam nodos referentes ao caso, inclusive o nodo diagnóstico. Faz muitas alterações, incluindo e excluindo um mesmo nodo repetidas vezes. A colocação dos arcos é feita com poucas alterações.
- *Aluno 2* – Coloca todos os nodos na tela, com exceção do nodo diagnóstico. Insere os arcos, depois os remove e insere novamente, com sentido inverso. Exclui nodos e volta a inseri-los. Faltam alguns nodos relacionados ao caso.
- *Aluno 3* – Coloca todos os nodos na tela e depois os arcos. Exclui praticamente todos os nodos (e arcos) e depois os recoloca novamente, com os arcos.
- *Aluno 4* – Coloca todos os nodos e arcos, com poucas alterações.
- *Aluno 5* – Coloca todos os nodos do caso, e depois os arcos, com algumas alterações. Não há nodos desnecessários.
- *Aluno 6* – Coloca os nodos do caso, com exceção de um deles. Depois inclui os arcos, praticamente sem alteração.

De acordo com os estudos realizados por Piaget, é possível identificar três níveis no processo de tomada de consciência: no primeiro, as ações são somente materiais e particulares, sem conceituação; no segundo nível, a coordenação das ações possibilita a representação das relações, que é a conceituação e, finalmente, no terceiro e último nível, o sujeito é capaz de realizar abstrações refletidas, ou seja, elaborar hipóteses que dirigem a ação.

Considerando que um aluno inicia a construção de seu modelo colocando todos ou a maioria dos nodos de uma maneira aleatória, ou então de uma maneira regular de acordo com a ordem de aparecimento no texto, ou ainda em ordem alfabética, sem a colocação de arcos, o professor, nesta proposta, tem indícios de que provavelmente o aluno está agindo sem considerar as conceituações existentes (relações entre as variáveis). Seriam alunos que estão mais próximos do primeiro nível, como os *alunos 1, 2, 3 e 4*, que constroem seu modelo a partir de uma abstração empírica.

O *aluno 1*, por exemplo, aparenta ter muitas dúvidas em relação a um determinado nodo, ou seja, não tem idéia se o nodo está ou não relacionado ao problema.

O *aluno 2*, por outro lado, ao não incluir o nodo diagnóstico, não relaciona as variáveis ao problema em si.

O *aluno 3* colocou todos os nodos e depois iniciou a construção das relações, mas em situação inversa (um diagnóstico explica a presença de sintomas, sinais, exames, etc).

O *aluno 4* ao colocar todos os nodos, também utiliza a abstração empírica para a construção de seu modelo. Entretanto, o fato de fazer poucas alterações nos nodos e nos arcos, indica que também utiliza a abstração reflexionante.

As ações do *aluno 6* reúnem indícios de que este esteja no segundo nível: após analisar algumas variáveis que podem ter um maior significado, o aluno provavelmente está formulando uma hipótese, que começa a justificar com o acréscimo das informações complementares. Nesse caso, faltou um dos nodos que consta no modelo do especialista.

O *aluno 5* iniciou selecionando os nodos do caso, inclusive o nodo diagnóstico e depois colocou os arcos. A dificuldade em relacionar corretamente os arcos pode indicar que esse aluno tem uma hipótese, que deseja demonstrar com as variáveis selecionadas. Essas ações são indícios de que este aluno se encontra no terceiro nível, de acordo com os estudos de Piaget.

Ainda analisando o processo do *aluno 3*, a construção de um modelo onde o diagnóstico justifica os achados (sintomas, sinais, exames, etc.) não corresponde à conduta esperada para um especialista, que tem acesso aos achados, e que realiza um diagnóstico a partir dessas evidências.

Observando o processo de construção desses alunos, fica claro que se encontram em diferentes níveis de conceituação e que, caso os *alunos 1, 2 e 3* consigam elaborar a sua hipótese diagnóstica, será por um caminho longo de tentativas e retomadas (como o *aluno 3*, que refez todo o processo) sem garantias de que consigam refazê-lo. Estratégias pedagógicas apresentadas sob a forma de exemplos, indicações, experimentações ou demonstrações, recursos ricos para abstrações empíricas e pseudo-empíricas, podem auxiliar estes alunos a ultrapassarem esse nível.

Já os *alunos 4 e 6*, que estão trabalhando com as relações entre as variáveis, provavelmente serão mais beneficiados com estratégias apresentadas sob a forma de argumentações e pesquisas de hipóteses.

O *aluno 5*, que está mais próximo ao nível onde a conceituação orienta a construção de suas hipóteses, é apoiado, por sua vez, através de sugestões, desafios para reflexão e problematizações. Essas táticas visam estimular o aluno a realizar abstrações reflexionantes e principalmente abstrações refletidas, testando o seu modelo e ampliando-o com outras variáveis.

As ações do professor, embora baseadas nos indícios acima descritos e apoiadas na teoria de Piaget, não são de maneira alguma ações definitivas e conclusivas, mas sim uma crença baseada em suas experiências e suas observações. No decorrer do processo estas ações podem ser modificadas, adaptando-se a dinâmica do processo em si.

Baseado nesta análise empírica, fundamentada nos trabalhos de Jean Piaget (1978), formulamos as equações $P(\text{Nodos})$ e $P(\text{Arcos})$.

No caso de *Nodos*, é determinada a proporção dos nodos pertencentes ao caso e que estão no modelo do aluno; a mesma é multiplicada pela proporção do número de nodos totais do modelo do aluno e pela quantidade de movimentos (colocação e remoção) realizados para a colocação destes nodos, conforme equação abaixo.

$$P(Nodos) = \frac{Total_Nodos_Válidos_Modelo}{Total_Nodos_Caso} \times \frac{Total_Nodos_Modelo}{Total_Movimentos_Nodos}$$

As probabilidades do nodo *Arcos* são determinadas pelo número de arcos que compõem o modelo do aluno, em relação ao número de movimentos (colocação e remoção) realizados para a colocação destes arcos, conforme equação abaixo.

$$P(Arcos) = \frac{Total_Arcos_Modelo}{Total_Movimentos_Arcos}$$

A justificativa empírica para tais formulações está diretamente baseada na análise qualitativa, aqui descrita, que um agente humano (professor) poderia empreender sobre um determinado modelo gerado pelo aluno, incluindo o registro de atividades desse aluno para alcançar este modelo. A Tabela 1 apresenta a inferência da *Credibilidade* realizada para cada um dos alunos com base nas observações e resolução das equações $P(Nodos)$ e $P(Arcos)$.

Tabela A.1: Determinação do parâmetro de Credibilidade do Agente Aprendiz

Aluno	Nodos válidos modelo / Nodos caso	Nodos modelo / Movimentos	P(Nodos)	P(Arcos)	Nodo Diagnóstico	Nodos Desnecessários	Credibilidade
1	0,71	0,53	0,37	1,00	ausente	Presentes	Média
2	0,86	0,80	0,68	0,30	ausente	Presentes	Baixa
3	1,00	0,57	0,57	0,50	presente	Presentes	Baixa/Média
4	1,00	0,90	0,90	0,60	presente	Presentes	Alta
5	1,00	0,87	0,87	0,54	presente	Ausentes	Alta
6	0,86	0,75	0,64	0,80	presente	Ausentes	Alta

A figura A.1 mostra a execução da rede bayesiana do agente Aprendiz para inferência da credibilidade dos *alunos* 2 e 5, como exemplo.

É importante salientar a razoável congruência desses resultados quantitativos com os resultados da análise qualitativa obtidos na análise empírica. No diagnóstico qualitativo obtido para o *aluno* 2, foi considerado que ainda há um longo caminho a percorrer no processo de ensino-aprendizagem deste aluno, e caso ele consiga elaborar a sua hipótese diagnóstica, será através de tentativas e retomadas. Esse resultado está de acordo com o baixo grau de credibilidade inferido pelo Agente Aprendiz.

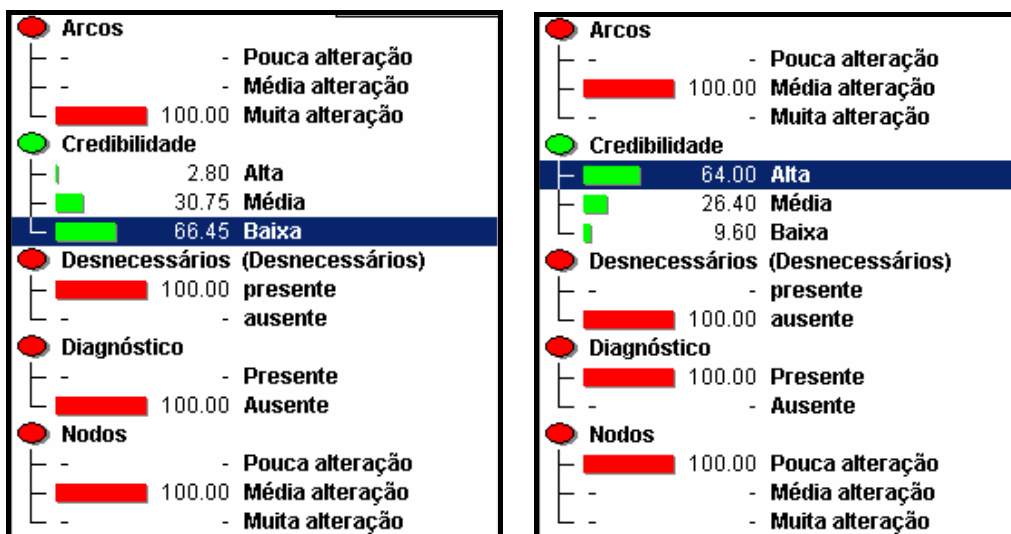


Figura A.1: Rede de credibilidade do aluno 2 (esquerda) e aluno 5 (direita)

O *aluno 5* é considerado na análise empírica como apresentando fortes indícios de ter atingido o terceiro nível de tomada de consciência (conseguir variar fatores, experimentar e construir novos modelos ou hipóteses). Na verdade, o alto grau de *Credibilidade* atribuído pelo agente Aprendiz ao modelo do *aluno 5* não só está de acordo com este diagnóstico qualitativo, como também pode ser considerado mais um forte indício de que o diagnóstico está correto.

ANEXO B ESTRATÉGIAS PEDAGÓGICAS DO AMBIENTE AMPLIA

Este anexo mostra o conjunto de estratégias e, dentro destas, táticas pedagógicas definidas para o ambiente AMPLIA. Elas são apresentadas em tabelas que mostram sua relação com os parâmetros considerados no processo de negociação pedagógica. A fundamentação teórica segundo a qual elas foram definidas não é abordada neste trabalho, visto que este não é o foco da pesquisa. A concepção, o desenvolvimento e a validação das estratégias e táticas pedagógicas fazem parte do trabalho de doutorado de Louise Seixas, aluna do Programa de Pós-graduação em Informática na Educação (PGIE-UFRGS).

O agente Mediador é o responsável pela seleção da estratégia e da tática, conforme apresentado na seção 4.2.3., ou seja, baseado na inferência realizada pelo diagrama de influência, o agente decide pela tática que apresenta maior utilidade num determinado instante do processo de ensino-aprendizagem. A seleção da estratégia tem uma relação de dependência direta dos parâmetros *Qualidade da rede* e *Autoconfiança*, ou seja, do resultado da avaliação do modelo bayesiano do aluno e da confiança declarada pelo aluno, enquanto a tática depende apenas do parâmetro *Credibilidade*, ou seja, do nível de autonomia que o aluno expressa através de suas ações.

Foram definidas para o ambiente AMPLIA cinco estratégias e doze táticas pedagógicas. As estratégias são denominadas: *orientação*, *contestação*, *ampliação*, *apoio* e *comprovação*, e as táticas: *sugestão*, *correção*, *indicação*, *reflexão*, *busca*, *experimentação*, *discussão*, *problematização*, *exemplo*, *hipótese*, *demonstração* e *modelo*.

Nas tabelas abaixo, é possível compreender como os parâmetros de negociação se relacionam entre si, bem como em que momento do processo de negociação as estratégias e táticas são selecionadas.

Tabela B.1: Lista das estratégias e táticas relacionadas aos parâmetros de negociação Credibilidade, Autoconfiança e Qualidade da rede

Rede	Problema	Confiança	Estratégia	Credibilidade	Tática	
Inviável	Ciclos	Alta	Orientação	Alta	Sugestão	
				Média	Indicação	
				Baixa	Correção	
		Média	Orientação	Orientação	Alta	Sugestão
					Média	Indicação
					Baixa	Correção
		Baixa	Orientação	Orientação	Alta	Sugestão
					Média	Indicação
					Baixa	Correção

	Desconexo	Alta	Orientação	Alta	Sugestão
				Média	Indicação
				Baixa	Correção
		Média	Orientação	Alta	Sugestão
				Média	Indicação
				Baixa	Correção
		Baixa	Orientação	Alta	Sugestão
				Média	Indicação
				Baixa	Correção
Incorreta	Excludentes	Alta	Contestação	Alta	Reflexão
				Média	Reflexão
				Baixa	Busca
		Média	Contestação	Alta	Reflexão
				Média	Busca
				Baixa	Experimentação
		Baixa	Contestação	Alta	Busca
				Média	Busca
				Baixa	Experimentação
	Diagnóstico pai	Alta	Contestação	Alta	Reflexão
				Média	Reflexão
				Baixa	Busca
		Média	Contestação	Alta	Reflexão
				Média	Busca
				Baixa	Experimentação
		Baixa	Contestação	Alta	Busca
				Média	Busca
				Baixa	Experimentação
	Sem diagnóstico	Alta	Contestação	Alta	Reflexão
				Média	Reflexão
				Baixa	Busca
		Média	Contestação	Alta	Reflexão
				Média	Busca
				Baixa	Experimentação
		Baixa	Contestação	Alta	Busca
				Média	Busca
				Baixa	Experimentação
Potencial	Falta Trigger	Alta	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Discussão
				Baixa	Problematização
		Média	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Problematização
				Baixa	Problematização
		Baixa	Apoio	Alta	Problematização
				Média	Exemplo
				Baixa	Exemplo
	Falta Essencia I	Alta	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Discussão
				Baixa	Problematização

		Média	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Problematização
				Baixa	Problematização
		Baixa	Apoio	Alta	Problematização
				Média	Exemplo
				Baixa	Exemplo
	Falta Complementar	Alta	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Discussão
				Baixa	Problematização
		Média	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Problematização
				Baixa	Problematização
		Baixa	Apoio	Alta	Problematização
				Média	Exemplo
				Baixa	Exemplo
	Tem Desnecessário	Alta	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Discussão
				Baixa	Problematização
Média		Ampliação	Alta	Discussão	
			Média	Problematização	
			Baixa	Problematização	
Baixa		Apoio	Alta	Problematização	
			Média	Exemplo	
			Baixa	Exemplo	
Satisfatória	Faltam Arcos	Alta	Ampliação	Alta	Discussão
				Média	Problematização
				Baixa	Problematização
		Média	Comprovação	Alta	Hipótese
				Média	Hipótese
				Baixa	Demonstração
	Baixa	Comprovação	Alta	Hipótese	
			Média	Demonstração	
			Baixa	Demonstração	
Completa	Igual especialista	Alta	Comprovação	Alta	Modelo
				Média	Discussão
				Baixa	Discussão
		Média	Comprovação	Alta	Hipótese
				Média	Hipótese
				Baixa	Demonstração
		Baixa	Comprovação	Alta	Hipótese
				Média	Demonstração
				Baixa	Demonstração

Tabela B.2: Lista das táticas relacionadas ao problema principal identificado no modelo bayesiano do aluno e os argumentos (conteúdo das mensagens) repassados ao aluno

Tática	Problema	Mensagem_Argumento	Arg
Busca (procurar)	Excludente	Sua rede contém nodos cuja presença diminui a probabilidade do diagnóstico. Procure-o clicando sobre os nodos e verifique se sua probabilidade está corretamente representada.	2.a
	Diagnóstico pai	A sua rede não expressa uma hipótese diagnóstica, que se caracteriza pelo fato de um sintoma ou evidência justificar o diagnóstico. Verifique o sentido dos arcos ligados ao nodo diagnóstico.	9.d
	Sem Diagnóstico	Um nodo fundamental está faltando em sua rede. Verifique qual é o nodo diagnóstico que está justificando a sua hipótese.	9.c
Correção (Refazer)	Ciclos ou Desconexos	Há ciclos (nodos desconexos) em sua rede que não estão de acordo com o conceito de rede bayesiana. Clique aqui para ver.	1
Demonstração (Observar dados que são mostrados)	Faltam arcos	Sua rede ainda não consegue confirmar o diagnóstico, provavelmente algumas relações importantes estão incorretas ou faltando. Se desejar, consulte o <u>material em anexo</u> para obter mais informações.	5.f
	Falta complementar	Sua rede é satisfatória, porém pode ser acrescida de informações complementares para o diagnóstico. Confira o <u>histórico do paciente</u> relacionado as evidências e aos nodos, buscando completar os dados	4.b
	Igual especialista	Sua rede está completa e confirma o diagnóstico. Reveja o <u>histórico do paciente</u> relacionado as evidências e os nodos	4.a
	Falta Trigger	Uma variável importante não está presente. Consulte o <u>material em anexo</u> , que reforça esta informação.	5.a
	Falta Essencial	Uma variável essencial não está presente. Consulte o <u>material em anexo</u> que, reforça esta informação.	5.b

Discussão (Texto argumentativo)	Falta Complementar	Algumas variáveis, embora não essenciais, estão faltando em sua rede. Consulte o <u>material em anexo</u> , que reforça esta informação.	5.c
	Desnecessário	Sua rede contém algumas incorreções. Baseado no <u>material anexo</u> , identifique estes pontos em sua rede, alterando-os.	5.d
	Falta arcos	Quando comparada com um banco de casos reais, a sua rede confirma o diagnóstico corretamente em ... % dos casos (valor menor que do especialista), e o modelo do especialista tem uma performance de ...% . Você deseja continuar até atingir ou superar esta performance? Sim / Não	9.f
	Igual especialista	Seu modelo está completo, igual ao do especialista, e confirma o diagnóstico. Entretanto, o AMPLIA detectou que você realizou muitas tentativas até atingir este objetivo. Você deseja refazer este estudo de caso?	9.g
Exemplo (Fazer igual)	Falta Trigger	Sua rede ainda não está completa, pois faltam nodos <i>trigger</i> para confirmar o diagnóstico. Compare no <u>histórico do paciente</u> quais evidências já estão representadas em sua rede	4.b
	Falta Essencial	Sua rede ainda não está completa, pois faltam nodos essenciais para confirmar o diagnóstico. Compare no <u>histórico do paciente</u> quais evidências já estão representadas em sua rede	4.b
	Falta Complementar	Sua rede ainda não está completa, pois faltam nodos complementares para confirmar o diagnóstico. Compare no <u>histórico do paciente</u> quais evidências já estão representadas em sua rede	4.b
	Desnecessário	Sua rede contém nodos que não fazem parte deste diagnóstico. Compare no <u>histórico do paciente</u> as evidências que estão representadas em sua rede	4.c

Experimentação (Manipular os dados)	Excludente	Sua rede contém nodos cuja presença diminui a probabilidade do diagnóstico. Identifique este <u>nodo excludente</u> , experimente variar sua probabilidade e observe a variação da probabilidade do diagnóstico.	2.c
	Diagnóstico Pai	A sua rede não expressa uma hipótese diagnóstica, que se caracteriza pelo fato de um sintoma ou evidência justificar o diagnóstico. Veja a diferença no <u>exemplo</u> e experimente inverter o sentido dos arcos em seu modelo.	3.a
	Sem Diagnóstico	Está faltando um nodo fundamental em sua rede. <u>Experimente executá-la</u> e veja se é possível identificar o diagnóstico para o caso de estudo	9.c
Hipótese (Organizar para antecipar)	Falta complementar	Sua rede pode ser acrescida de informações complementares para o diagnóstico. Quais seriam esses nodos?	9.a
	Faltam arcos	<u>Experimente executar sua rede</u> e veja se é possível identificar o diagnóstico, pois provavelmente ainda estão faltando algumas relações entre os nodos ou estas relações estão incorretas. No <u>material anexo</u> há informações sobre algumas destas relações.	5.f
	Igual especialista	Seu modelo confirma o diagnóstico, mas você declarou não ter plena confiança nele. Você acha que devem ser <u>incluídos</u> ou <u>excluídos</u> nodos? Se o aluno clica em “incluídos” – 2.b Se o aluno clica em “excluídos” – 2.d	2.b ou 2.d
Indicação (Seguir)	Ciclos ou desconexos	Sua rede não está de acordo com o conceito de rede bayesiana. Veja a definição e um exemplo.	3.b
Modelo	Igual especialista	Sua rede está completa e confirma o diagnóstico. Veja a <u>rede modelada pelo especialista!</u>	8.b
Problematização	Falta Essencial	Para que sua rede se torne mais completa, quais das <u>seguintes evidências</u> são essenciais para o diagnóstico?	6.a
	Falta Trigger	Para que sua rede se torne mais completa, qual <u>das seguintes evidências</u> é decisiva para confirmar o diagnóstico?	6.b

(Organizar dados)	Falta complementar	Para que sua rede se torne mais completa, quais das <u>seguintes evidências</u> complementam a sua rede?	6.c
	Tem desnecessário	Há variáveis desnecessárias em sua rede. Qual das <u>seguintes evidências</u> não está relacionada ao diagnóstico?	7
	Faltam arcos	Sua rede foi comparada com um banco de casos reais e identificou o diagnóstico correto em ...% dos casos, enquanto a rede do especialista identificou ... %. Para alterar essa performance, ajuste a tabela de probabilidades e <u>execute sua rede</u> , antes de submetê-la à nova avaliação.	9.e
Reflexão (Analisar dados)	Excludente	A presença de uma evidência em sua rede afasta a probabilidade do diagnóstico. Reavalie a distribuição de suas probabilidades, buscando este nodo excludente.	9.b
	Diagnóstico. Pai	A construção de sua rede não está orientando para uma hipótese diagnóstica. Reavalie a maneira de construção, para que os sintomas justifiquem o diagnóstico.	9.d
	Sem diagnóstico	Está faltando um nodo fundamental em sua rede. Reflita qual é a sua hipótese diagnóstica.	9.c
Sugestão (Decidir)	Ciclos e desconexos	Seu modelo não corresponde ao modelo de rede bayesiana. Veja um <u>texto</u> sobre o assunto.	5.e

Tabela B.3: Lista dos argumentos gerados pelo agente Mediador relacionados a expectativas do agente Aprendiz quanto às próximas ações do aluno, bem como à avaliação esperada pelo agente de Domínio

Cód	Argumento AMPLIA	Expectativa AMPLIA	Avaliação
1	Mostrar em destaque nodos em ciclo ou desconexos, na rede do aluno.	Inclusão ou exclusão de arcos	Rede bayesiana viável
2	a- Mostrar propriedades avançadas de todos os nodos	a- Alteração das probabilidades do nodo excludente	Rede potencial
	b- Mostrar propriedades avançadas do nodo desnecessário	b- Nova submissão da rede com alteração da confiança	Aumento da confiança
	c- Mostrar propriedades avançadas do nodo excludente	c- Alteração das probabilidades do nodo Excludente	Rede potencial

	d- Mostrar propriedades avançadas de todos os nodos	d- Nova submissão da rede com alteração da confiança	Aumento da confiança
3	a- Mostrar exemplo de diagnóstico pai	d- Alteração da relação diagnóstico pai	Rede potencial
	b- Mostrar exemplo e definição de rede bayesiana	e- Inclusão / Exclusão de arcos	Rede bayesiana viável
4	Mostrar página interativa com caso (cada evidência clicada marca o nodo correspondente)	a- Nova submissão da rede com alteração da confiança	Aumento da confiança
		b- Inclusão de nodos	Rede mais satisfatória ou mais completa
		c- Exclusão do nodo desnecessário	Rede potencial
5	a- Apresentação de texto ou <i>links</i> ou outro material sobre ... nodos <i>trigger</i>	a- inclusão de nodo <i>trigger</i>	Rede mais satisfatória
	b- Apresentação de texto ou <i>links</i> ou outro material sobre... nodos essenciais	b- inclusão de nodo essencial	Rede mais satisfatória
	c- Apresentação de texto ou <i>links</i> ou outro material sobre... nodos complementares	c- inclusão de nodos complementares	Rede mais completa
	d- Apresentação de texto ou <i>links</i> ou outro material sobre... nodos desnecessários	d- Exclusão de nodos desnecessários	Rede mais potencial (menos incorreta)
	e- Apresentar texto “rede bayesiana”	e- Inclusão / Exclusão de arcos	Rede bayesiana viável
	f- Apresentação de textos ou links ou outro material sobre as relações entre os nodos.	f- Inclusão / Exclusão de arcos	Rede mais satisfatória
6	Relação de todos os nodos faltantes, incluindo os desnecessários...	a- Inclusão de nodo essencial	Rede mais satisfatória ou mais completa
		b- Inclusão de nodo <i>trigger</i>	Rede mais satisfatória ou mais completa
		c- Inclusão de nodo complementar	Rede mais satisfatória ou mais completa
7	Relação de alguns nodos aleatórios e o desnecessário	Exclusão do nodo desnecessário	Rede mais potencial (menos incorreta)
8	a- Apresentar mensagem destacando a identidade da rede do aluno com a rede do especialista	Nova submissão da rede, com alteração da confiança	Aumento da confiança

	b- Apresentar rede do especialista	Fim do processo	
9	Aguardar ação	a- Inclusão de nodos complementares	Rede mais completa
		b- Alteração problema nodo excludente	Rede viável
		c- Inclusão de nodo diagnóstico	Rede potencial
		d- Alteração relação diagnóstico / sintoma	Rede potencial
		e- Alteração tabela de probabilidade	Rede mais satisfatória
		f- Alteração na tabela de probabilidade	Rede completa
		g- Reapresentação do estudo de caso.	Novas interações.