

# Uma Estrutura para Definição de Seqüências de Estudos Baseada na Técnica *Ant System*

Parcilene Fernandes de Brito<sup>1</sup>, Fabiano Fagundes<sup>1</sup>, João Bosco da Mota Alves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Curso de Sistemas de Informação – Centro Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/ULBRA)

Caixa Postal 160 – 77054-970 – Palmas – TO – Brasil  
{pfb, fagundes}@ulbra-to.br

<sup>2</sup>Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina  
(INE/UFSC)

Caixa Postal 476 – 88040-900 – Florianópolis – SC – Brasil  
jbosco@inf.ufsc.br

**Resumo.** O estudo individual de uma determinada disciplina envolve a dificuldade do estudante de definir o "próximo passo" em uma seqüência de estudos. A implementação de um sistema computacional que torna possível o estudo individual envolve este problema. A utilização de agentes inteligentes baseados no *Ant System* torna possível a indicação deste próximo passo a partir das observações realizadas pelos agentes sobre as ações e reações do usuário ao sistema.

**Palavras Chaves:** *Ant System*, Seqüência de Estudos, Agentes Inteligentes.

## 1. Introdução

O desenvolvimento de sistemas inteligentes para o auxílio do usuário no aprendizado de uma determinada disciplina ou tema vem sendo motivo para inúmeras discussões na área de educação e informática [Seu 1992] [Ram 1994] [Brusilovsky 1997] [Ferguson 1998]. Uma destas discussões refere-se a definição de uma seqüência de informações que cada aluno deve seguir em seus estudos, um importante ponto que dotaria um sistema de habilidades semelhantes a de um professor, pois é a partir desta seqüência que o usuário vai ter a noção da evolução do seu aprendizado.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma estrutura que ofereça ao sistema as melhores saídas a partir de uma determinada situação. Entendendo que encontrar uma próxima situação ótima em tempo real seria algo extremamente complexo para ser feito em curto espaço de tempo, optou-se pela utilização de agentes inteligentes com o objetivo de acompanhar o

estudante em seu processo de aprendizagem e indicar as seqüências de estudo que se apresentarem mais interessantes neste processo.

Nesta estrutura, os exemplos de situações possíveis e otimizadas (em relação a alguma função objetivo) para uma determinada situação servem como meio de encontrar, por analogia, um caminho para o usuário.

A proposta de utilização dos agentes seguindo o modelo *Ant System* objetiva verificar a viabilidade de se trabalhar esta técnica em sistemas não-determinísticos, grandemente subjetivos, como é o processo ensino-aprendizagem. Buscou-se, então, com o desenvolvimento deste trabalho, estudar as características de agentes inteligentes, através da definição de seus elementos básicos e de sua utilização na estruturação de uma ferramenta de auxílio ao aprendizado, tomando por base a estrutura do *Ant System* [Dorigo 1996]. As próximas seções apresentarão os conceitos de agentes inteligentes, suas características e

elementos, e a técnica seguida no Ant System, sobre a qual se estruturarão os elementos apresentados nesta proposta, e por fim uma estrutura de agentes definida para se trabalhar a apresentação de uma sequência de estudos ao aluno.

## 2. Agentes Inteligentes

A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) é uma subárea da Inteligência Artificial (IA), que une as técnicas e ferramentas tradicionais de IA com as características de comunicação dos sistemas distribuídos. É concebida como sistemas compostos de várias entidades independentes que interagem em um domínio [Stone 1997].

Uma das tecnologias desenvolvidas na IAD diz respeito aos processos de comunicação entre diferentes sistemas buscando responder a determinados problemas através de um comportamento inteligente. Estas tecnologias, denominadas agentes [Maes 1994], realizam processos de aquisição de conhecimentos, de comunicação e transmissão dos mesmos, esboçando reações próprias de acordo com suas características. A próxima seção apresenta uma definição de agentes baseada em diferentes definições encontradas na literatura, bem como descreve algumas características dos mesmos e uma arquitetura de agentes.

### 2.1. Definições de Agentes

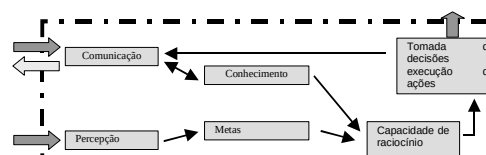
[Russel and Norvig 1995] apresentam que “um agente é qualquer coisa que pode ser vista percebendo um ambiente por meio de sensores e atuando no mesmo através de atuadores”. Outra definição, de [Maes 1994], descreve que “agentes são sistemas computacionais que habitam um ambiente complexo e dinâmico, sensoreiam e atuam autonomamente sobre este ambiente, realizando desta maneira uma série de metas e tarefas as quais foram projetados”.

Um conceito baseado nas funções dos agentes descreve que “Agentes Inteligentes realizam continuamente três funções: percepção das condições dinâmicas de um ambiente, ação de modo a afetar as condições do ambiente e raciocínio para interpretar percepções, realizar inferências e determinar ações”. [Hayes-Rot 1995]

Pode-se notar algumas características em comum entre estas definições. Buscando uma definição genérica, pode-se dizer que agentes são entidades autônomas que são especialistas na execução de uma determinada tarefa, tendo a capacidade de

perceber o ambiente em que atuam, tomar decisões sobre informações obtidas deste ambiente e executam alguma tarefa (ação) como resultado.

Os agentes devem ter algumas propriedades que os caracterizam, isto é, os diferenciam de programas normais. [Tavares 1999] reúne as propriedades: autonomia, habilidade social, reatividade, pro-ativismo, cooperação, aprendizagem, mobilidade, benevolência, racionalidade e continuidade temporal. [Tavares 1999] apresenta um modelo genérico utilizado para construção de agentes (Figura 1). Através deste modelo pode-se verificar quais os módulos utilizados na implementação de agentes, observando a decomposição dos módulos e a interação que ocorre entre eles.



O modelo é tomado como base para a estruturação do conjunto de agentes desenvolvido neste trabalho. Os módulos da arquitetura genérica podem ser assim descritos [Tavares 1999]:

**Módulo de Comunicação:** encarrega-se de enviar e receber mensagens de outros agentes mediante protocolos de transporte (HTTP, TCP/IP);

**Módulo de Percepção:** encarrega-se de verificar e monitorar as mudanças que ocorrem no ambiente;

**Base de Conhecimento:** é o módulo que guarda as informações do ambiente. Todas as mudanças que ocorrem são guardadas dentro deste módulo para serem utilizadas mais tarde como base para formular novas ações;

**Metas:** módulo onde estão os objetivos do agente, a tarefa que ele deve executar e o papel que ele deverá desempenhar dentro do sistema;

**Módulo de Raciocínio:** encarrega-se, a partir da base de conhecimento e das metas, de avaliar as diferentes alternativas de solução além de negociar e selecionar a melhor opção entre as mesmas;

**Módulo de tomada de decisão e execução de ação:** a partir da decisão da melhor alternativa, selecionada pelo módulo de raciocínio, o módulo de ação age sobre o ambiente utilizando a melhor solução.

A arquitetura apresentada é de fundamental importância para a definição de um agente que simule o comportamento de um aluno inserido num ambiente de aprendizagem de uma determinada disciplina. Para isso, o agente modelado teve que ser caracterizado como um aprendiz, ou seja, trabalha sobre uma base de conhecimento formada por indicadores de avaliação de aprendizagem. Partindo dessa premissa, foi possível estabelecer uma relação viável entre a concepção de agentes e a técnica *Ant System*, que será vista a seguir.

### 3. Ant System

*Ant algorithms* foram propostos como uma abordagem multiagente para problema de otimização combinatorial como o problema do caixeiro viajante e o problema quadrático de alocação [Dorigo 1996]. Outros problemas de alocação são trabalhados com estes algoritmos, como a definição de rotas e a ordenação

sequencial, por exemplo. *Ant algorithms* foram inspirados na observação de formigueiros reais [Dorigo 1999]. A proposta partiu da observação de que formigas são insetos sociais, pois vivem em colônias e seu trabalho é direcionado mais à sobrevivência da colônia, ou seja, do grupo, do que de um indivíduo específico.

Através destas observações, pensou-se em seguir a estrutura de trabalho das formigas em agentes que trabalham de forma colaborativa em direção a um resultado benéfico a todo o conjunto. A estruturação das formigas virtuais baseou-se na forma como as formigas reais trabalham a definição do melhor caminho na busca por comida para o formigueiro. Enquanto caminha da fonte para o formigueiro, e vice-versa, as formigas depositam uma substância, chamada feromônio, formando uma trilha. Formigas podem perceber o feromônio, e, quando fazem a escolha de um caminho, tendem a escolher, provavelmente, os caminhos marcados por uma maior concentração de feromônio. Verificou-se, nos experimentos reais, que estes tendem a ser os caminhos mais curtos em direção a fontes de comida [Dorigo 1999].

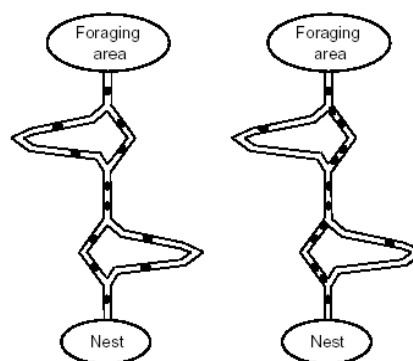


Figura 2 – Percurso das formigas em direção a fonte de alimento – [Dorigo 1999] modificado

A figura 2 ilustra o percurso realizado pelas formigas fora do formigueiro. De início, há uma certa uniformidade no número de formigas que escolhem os vários caminhos, sejam eles maiores ou menores em seu comprimento. Após algum tempo, as formigas passam a seguir o caminho que é mais viável, ou seja, o menor caminho. Isso ocorre pela escolha feita, pelas formigas, por aquele caminho que possui uma quantidade maior de feromônio [Dorigo 1996]. O caminho menos percorrido, o maior, possui uma quantidade menor de feromônio, que não é repostado, pois as formigas não o percorrem em grande quantidade, assim, com o tempo esta quantidade de feromônio começa a evaporar pela ação da própria natureza. Ao contrário, o melhor caminho apresenta-se cada vez com uma quantidade maior de feromônio, e com uma probabilidade maior de ser seguido pelas formigas.

Deve-se ressaltar a importância desse cálculo de probabilidade. Ainda que haja uma quantidade maior de feromônios em um determinado caminho, as formigas têm a possibilidade de optar por um outro. Isso se dá pela definição da probabilidade em função da quantidade de feromônios. Quanto maior a quantidade de feromônios em um caminho, maior a probabilidade da formiga seguir por ele. [Dorigo 1996]

O *Ant System* baseia-se nesta estrutura para, através de formigas virtuais, trabalhar a otimização discreta em problemas tais como o Caixeiro Viajante, o Problema da Alocação Quadrática, entre outros [Dorigo 1999]. Em um problema deste estilo o *Ant System* atua disponibilizando um número de formigas que trabalharão sobre o modelo do problema. As formigas, à medida que caminham, realizam avaliações heurísticas e disponibilizam uma certa quantidade de feromônio. Enquanto percorrem o problema, as formigas tendem a optar por este ou aquele caminho a partir das avaliações heurísticas

acrescidas da avaliação da quantidade de feromônio depositada em cada uma das alternativas existentes. Os problemas são trabalhados como grafos e as arestas têm como peso a quantidade de feromônio acumulada pela passagem das formigas por elas.

### 3.1. A Aplicação da Técnica *Ant System*

Para o desenvolvimento de um sistema que ofereça uma sequência coerente para o estudo de um determinado aluno, verificou-se, a partir da análise do percurso realizado individualmente por vários alunos, que era possível um grupo de usuários percorrer caminhos semelhantes e desta forma estabelecer uma sequência de aprendizagem mais coerente. No entanto, para isso, foi necessário observar qual usuário obtinha maiores probabilidades em atingir os melhores resultados. Sendo assim, passou-se a trabalhar com a hipótese de que os caminhos com melhores resultados deveriam ter uma maior importância para o grupo. Esta, basicamente, é a ideia do feromônio no *Ant System*, ou seja, a quantidade de feromônios depositada em cada nó do grafo que representa o caminho é primordial para definir os melhores percursos do grupo, como um todo.

O fato do *Ant System* não ser determinístico, ou seja, possibilitar que, em algum momento, uma “formiga” não siga o melhor percurso, tornou possível sua aplicação em um sistema de ensino, dado a probabilidade de, num determinado ponto, um estudante ter uma percepção diferente daquela percebida pelo grupo. Sendo assim, a sequência de aprendizagem para este aluno pode destoar do geral, sem que essa possibilidade venha a ser refutada pelo sistema.

Para exemplificar, será apresentada na próxima seção a definição de uma sequência de estudos para a Lógica de Predicados. A partir dessa aplicação é possível entender os conceitos do *Ant System*, bem como demonstrar a sua real aplicação na definição de sequências de estudo.

### 3.2. Aplicação das Técnicas *Ant System* no Ensino da Lógica de Predicados

Um sistema de ensino para a Lógica de Predicados, assim como para qualquer disciplina, necessita estabelecer um caminho coerente para o nível de aproveitamento que o aluno apresenta em alguns domínios da disciplina. Para isso, foi modelado um grafo para representar o percurso do usuário no sistema.

Na figura 3 é apresentado um grafo para o domínio “Cálculo Proposicional” – um tópico da disciplina Lógica de Predicados. O usuário,

representado pela formiga, percorre o caminho no grafo, cada nó representa um conteúdo específico do tópico.

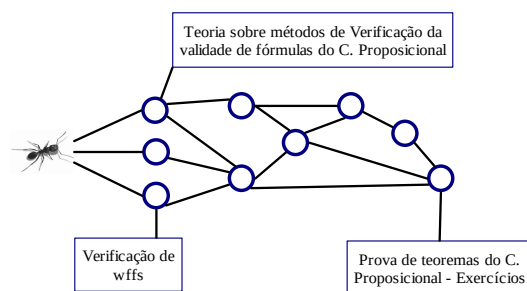


Figura 3 – Grafo com a sequência de passos para o aprendizado do Cálculo Proposicional

Segundo [Schoonderwoerd et al 1997] cada nó deve conter uma tabela de feromônio para toda possibilidade de destino na rede e para os nós destinos destes vizinhos. Deste modo, um nó com  $k$  vizinhos em uma rede com  $n$  nós tem uma tabela de feromônio com  $(n-1)$  linhas, em que cada linha corresponde a um nó destino, e tem  $k$  entradas. A tabela de feromônio contém probabilidades (representando o peso do feromônio), sendo regularmente atualizada tão logo uma formiga alcance um nó.

Assim, as formigas são lançadas na rede e a partir da tabela de feromônio existente em cada nó vão definindo seus nós destinos. No exemplo do tópico “Cálculo Proposicional”, conforme visto anteriormente, cada nó é formado por um conteúdo específico. Esses conteúdos também fazem parte dos critérios para a definição do próximo nó na rede.

Quando a formiga chega em um nó, são atualizadas as probabilidades das entradas na tabela de feromônio dos nós que correspondem ao seu nó origem. [Schoonderwoerd et al 1997] Desta forma as tabelas são alteradas para aumentar a probabilidade do nó precedente apontar para o nó atual.

#### 3.2.1 A Relação entre Agentes Inteligentes e a Técnica *Ant System*

É possível verificar que cada formiga funciona como um agente inteligente e como tal possui uma percepção do ambiente em que está inserida. Isso ocorre pois cada agente possui uma base de conhecimento inicial, que contém o caminho mais adequado de aprendizagem do conteúdo, ou seja, a sequência definida no plano de ensino da disciplina. A partir da aplicação do algoritmo *Ant System* poderão ocorrer modificações na sequência inicial.

No caminho pelos nós, é estabelecida uma comunicação com os outros agentes, pois estes tendem a decidir pelo caminho com maior quantidade de feromônio, ou seja, o caminho que mais agentes percorreram e obtiveram êxito. Isso implica na estruturação dos nós com possibilidade de armazenamento de dados, desde um contador que incrementa a quantidade de agentes que passaram por ele, até um indicador de que caminhos são possíveis percorrer a partir dele e quais existem que podem tê-lo como destino. Esses dados se transformam nas informações necessárias para que cada agente possa percorrer seu caminho. Sendo assim, ao decidir que próximo passo tomar, a partir da capacidade de distinguir o melhor caminho, o agente torna-se capaz de tomar decisões.

Como cada aluno tem um objetivo a ser atingido no final de cada módulo estudado, o agente define metas a partir da sua base de conhecimento (base inicial, caminhos percorridos com ou sem êxito, nós que alcançou os melhores e os piores resultados etc) e assim a sua evolução de aprendizagem é modelada a partir de suas necessidades.

### 3.2.2 A Definição do Próximo Passo

A cada passagem pelo nó uma formiga deposita uma quantidade de feromônio. Essa quantidade tende a diminuir ou aumentar em alguns nós escolhidos inicialmente como ponto de verificação.

Neste ponto de verificação é realizado um teste com o aluno. O nível de acerto ou erro que o aluno obtiver nas questões será um fator determinante para a atualização da quantidade de feromônio em todo o percurso realizado por ele. Pois, assim, é possível definir que aquela trajetória obteve bons ou maus resultados. Há uma diferença primordial entre atualizar a trajetória e atualizar apenas o nó origem. Na primeira situação há uma mudança geral em todas as tabelas de feromônios dos nós percorridos pela formiga, enquanto que, no segundo caso, só afetará a tabela de feromônio do nó origem.

Vale ressaltar que a partir da resposta obtida e da atualização nas tabelas de feromônios é possível estabelecer um caminho mais ou menos provável para ser seguido por um grupo, ou seja quais destinos possíveis a “formiga” pode atingir a partir de um dado nó. Conforme apresentado na figura 4, os usuários, representados pelas duas formigas, podem seguir caminhos distintos, mas a probabilidade de um dos caminhos ser mais eficiente na obtenção dos objetivos pode indicar a viabilidade de sua utilização pelo grupo. Desta

forma, o caminho que não apresentou bons resultados para um determinado aluno tende a desaparecer, pois se um caminho não receber constantemente uma quantidade de feromônio nos seus nós, é sinal de que o percurso não foi adequado para atingir os resultados. Assim sendo, o acumulador de feromônios não é incrementado.

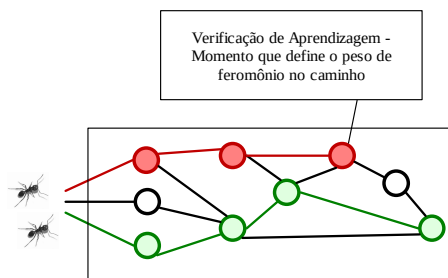


Figura 4 - Caminhos percorridos de acordo com a taxa de feromônio

Sendo assim, é possível sistematizar as ações realizadas, ou seja, a partir de cada nó visitado:

- Atualiza-se o valor do feromônio do nó precedente;
- Atualiza-se, caso o nó seja um ponto de verificação de aprendizagem, os nós percorridos a partir da origem, com valor dependente da avaliação da situação do nó atual, ou seja, a partir do nível de acerto ou erro obtido na avaliação;
- Verifica-se, dos nós vizinhos, qual possui uma quantidade maior de feromônio, para determinar a direção a seguir.

Na interface apresentada na figura 5 é possível visualizar que, ao sistematizar o conteúdo de uma disciplina em tópicos bem definidos, torna-se viável a aplicação da técnica *Ant System*. Isto porque, ao ser indicado para o aluno, através dos itens vistos (marcados com um V), os tópicos pelos quais ele já passou e que obteve êxito e com o X, os tópicos genéricos da disciplina, em que ele ainda não apresentou o nível de aprendizagem esperado, tem-se a definição de um caminho formal, tal qual acontece nos caminhos reais percorridos pelas formigas.

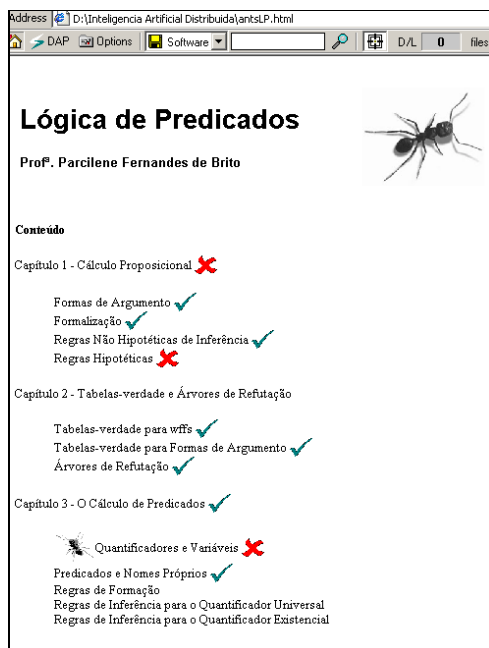


Figura 5: Apresentação da sistematização da disciplina em Tópicos

De acordo com essa apresentação é possível estabelecer que o nível de feromônio atualizado a partir da movimentação dos agentes (formigas) e dos indicadores de avaliação (pontos de verificação utilizados para avaliação do conteúdo em cada tópico), o aluno obterá uma maior consistência na sequência de aprendizagem adequado ao seu perfil.

#### 4. Considerações Finais

No trabalho realizado buscou-se aplicar a técnica *Ant System* a um problema real e, para isso, utilizou-se também, os conceitos de agentes inteligentes. Sendo assim, mais do que perceber, através da prática, que um problema tão subjetivo como o estabelecimento de caminhos de aprendizagem era possível de ser computado, observou-se que o trabalho conjunto entre algumas técnicas de Inteligência Artificial podem trazer resultados muitas vezes melhores do que sua aplicação individual.

Espera-se que, através deste trabalho, um sistema de ensino com características “inteligentes” possa vir a ser desenvolvido com mais êxito. Pois utilizando a teoria dos agentes busca-se perceber o aluno através das características que o diferencia do grupo, assim é possível simular um ambiente que esteja apto a perceber estas características e a, principalmente, trabalhar com elas. Em contrapartida, a técnica *Ant System*

insere esse indivíduo num grupo e busca, através das suas características similares, estabelecer caminhos que ofereçam a grande maioria dos usuários, as melhores possibilidades para atingir seus objetivos.

#### 5. Referências

[Brusilovsky 1997] Brusilovsky, P., Schwarz, E. User as Student: Towards an Adaptive Interface for Advanced Web-Based Applications. In Anthony Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso (Eds.), *User Modeling: Proceedings of the Sixth International Conference, UM97*. Vienna, New York: 1997.

[Dorigo 1996] Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B: Cybernetic*. V. 26, n. 1, Fevereiro, 1996.

[Dorigo 1999] Dorigo M., G. Di Caro and L. M. Gambardella. Ant Algorithms for Discrete Optimization. *Artificial Life*, 5,2, pp. 137-172, 1999.

[Ferguson 1998] Ferguson, G., Allen, J. F. TRIPS: An Integrated Intelligent Problem-Solving Assistant.

[Hayes-Roth 1995] Hayes-Roth, B. (1995), “An Architecture for Adaptive Intelligent Systems”, *Artificial Intelligence: special issue on agents and interactivity*, 72, 329-365.

[Maes 1994] Maes, P. Modeling Adaptive Autonomous Agents. *Artificial Life Journal*, edited by C. Langton, Vol. 1, No. 1 & 2, pp. 135-162, MIT Press, 1994.

[Ram 1994] Ram, A., Leake, D. A framework for goal-driven learning. In: *Proceedings of the 1994 AAAI Spring Symposium on Goal-Driven Learning*, pp.1-11, 1994.

[Russell and Norvig 1995] Russell, S., Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall, 1995.

[Schoonderwoerd et al 1997] Schoonderwoerd, R., Holland, O.E.; Bruten, J.L., Rothkrantz, L.J.M., *Ant-Based Load Balancing in Telecommunications Networks*, in: *Adaptive Behavior Vol. 5, No. 2*, 169-207, 1997, Massachusetts Institute of Technology

[Seu 1992] Seu, J. The Development of an Input Understander for an Intelligent Tutoring System Based on a Sublanguage Study, Ph.D. Dissertation, Illinois Institute of Technology, 1992.

[Stone 1997] Stone, P., Veloso, M. Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective. *Autonomous Robotics*, v. 8, n. 3. July, 2000.

[Tavares 1999] Tavares, J. M. Comunicação entre agentes inteligentes. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1999.