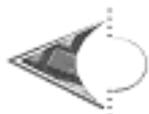


Ambientes Virtuais Inteligentes

C. T. Santos¹ e F. S. Osório¹

¹Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada,
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 93022-000, Brasil,
{cassiats, osorio}@exatas.unisinos.br

RESUMO



C. T. Santos e F. S. Osório. 2004. Ambientes Virtuais Inteligentes. Congresso Brasileiro de Ciência da Computação, Itajaí, 2004, 956 – 977. Itajaí, SC – Brasil, ISSN 1677-2822

Os Ambientes Virtuais (AVs) tornaram-se uma alternativa atraente para o desenvolvimento de interfaces mais realistas e interessantes para o usuário, a partir da exploração das técnicas de Realidade Virtual (RV). Atualmente, as pesquisas em Inteligência Artificial (IA), Vida Artificial (VA) e AVs têm sugerido uma integração entre estas áreas. O objetivo é a criação de ambientes virtuais que explorem o uso de entidades com certo grau de inteligência e os efetivos meios de suas representações gráficas, juntamente com diferentes formas de interação, provendo maior dinamicidade, realismo e usabilidade aos ambientes. Os ambientes que exploram tal integração são denominados Ambientes Virtuais Inteligentes (AVIs). Sob uma perspectiva geral, os AVIs combinam técnicas de IA e VA com tecnologias gráficas 3D, comumente derivadas da área de Computação Gráfica (CG). Este mini-curso apresenta uma visão geral sobre os AVIs, comentando algumas das principais abordagens utilizadas na construção de ambientes aplicados à simulação, entretenimento e educação. São destacados o uso de agentes inteligentes e os efetivos meios de comunicação entre o usuário e o ambiente, pela exploração das técnicas de processamento de linguagem natural. Por fim, são apresentados dois estudos de casos, um ambiente virtual de apoio a educação a distância e uma livreria virtual, baseados na arquitetura de um ambiente virtual inteligente e adaptativo.

PALAVRAS DE INDEXAÇÃO ADICIONAIS: *realidade virtual, agentes inteligentes, processamento de linguagem natural, animação comportamental.*

INTRODUÇÃO

Os Ambientes Virtuais (AVs) tornaram-se uma alternativa atraente para o desenvolvimento de interfaces mais realistas e interessantes para o usuário, a partir da exploração das técnicas de Realidade Virtual (RV).

Atualmente, as pesquisas em Inteligência Artificial (IA), Vida Artificial (VA) e AVs têm sugerido uma integração entre estas áreas. O objetivo é a criação de ambientes virtuais que explorem o uso de entidades com certo grau de inteligência e os efetivos meios de suas representações gráficas, juntamente com diferentes formas de interações, provendo maior dinamicidade, realismo e usabilidade aos ambientes. De acordo com AYLETT AND LUCK (2000) e AYLETT AND CAVAZZA (2001), os ambientes que exploram tal integração são denominados Ambientes Virtuais Inteligentes (AVIs). Sob uma perspectiva geral, os AVIs combinam técnicas de IA e VA com tecnologias gráficas 3D, comumente derivadas da área de Computação Gráfica (CG).

Conforme AYLETT AND LUCK (2000), diversos fatores têm motivado esta integração. Primeiro, o aumento do poder computacional tem permitido não apenas a exploração de um alto grau de realismo visual, mas a adição de uma camada de inteligência aos ambientes. Segundo, a disponibilidade de bibliotecas e padrões gráficos 3D, tais como OpenGL, Java3D, VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) e, mais recentemente, o X3D, tem promovido o desenvolvimento de ambientes 3D. Terceiro, as técnicas de IA, tais como as de processamento de linguagem natural, têm amadurecido em paralelo, podendo ser exploradas nas interações entre os usuários e o ambiente.

Sob a perspectiva da IA, os pesquisadores estão passando a considerar os AVs como uma ferramenta para a exploração de suas técnicas, tais como a criação de agentes com diferentes níveis de autonomia e comportamentos. Por outro lado, as pesquisas em VA estão concentradas, principalmente, na criação de AVs que permitam a simulação de comportamentos físicos de seres vivos, conforme as regras que regem os seus comportamentos no mundo real. Os pesquisadores da CG, por sua vez, estão interessados em tornar os seus ambientes mais realistas e dinâmicos, agregando comportamentos inteligentes aos seus componentes. Isto tem envolvido a exploração de humanos virtuais e ambientes compostos por objetos inteligentes.

Deste modo, a área de AVIs abrange diferentes grupos de pesquisa concentrados em diferentes aspectos gráficos dos ambientes e da inteligência embutida nestes. Uma conceituação genérica para os AVIs é proposta por ANASTASSAKIS *et al.* (2001). Segundo estes pesquisadores, um AVI pode ser definido como um ambiente virtual semelhante a um mundo real, habitado por entidades autônomas inteligentes exibindo uma variedade de comportamentos. Estas entidades podem ser objetos estáticos simples ou dinâmicos, representações virtuais de formas de vida (humanos ou animais), avatares (que representam usuários no ambiente), entre outros.

De acordo com RICKEL *et al.* (2002), GRATCH *et al.* (2002) e ANASTASSAKIS *et al.* (2001), as aplicações potenciais destes ambientes são consideráveis, podendo ser empregados em uma variedade de áreas, especialmente relacionadas com a simulação, o entretenimento e a educação.

Em simulação, ambientes de diferentes tipos (espaços urbanos abertos ou interiores, habitados por humanos virtuais) podem ser

aplicados, por exemplo, em projetos arquitetônicos, no controle de tráfego de pessoas ou carros. Além disso, as simulações de humanos virtuais (MUSSE, 2000) em situações de emergência, e de comportamentos de grupos de animais (REYNOLDS, 1987) têm sido exploradas.

Na área de entretenimento, os jogos (GRAND AND CLIFF, 1998), com cenários que podem ser adaptados conforme o andamento do jogo, e teatros (NIJHOLT AND HULSTIJN, 2000), museus (DONIKIAN, 2004) e lojas virtuais (CHITTARO AND RANON, 2002), onde o usuário pode navegar, interagir com outros usuários e com assistentes virtuais, podem ser citados como aplicações potenciais. Além disso, aplicações tais como as estórias interativas (CAVAZZA *et al.* 2001), onde o usuário é um participante ativo, podendo interferir no curso das mesmas, têm surgido como uma nova forma de entretenimento.

Na área educacional, a incorporação de personagens tutores (RICKEL AND JOHNSON, 1997) e a exploração de interações multimodais, juntamente com sofisticadas técnicas de representações da informação podem prover experiências de aprendizado mais agradáveis e efetivas.

Este mini-curso apresenta uma visão geral sobre os AVIs, comentando algumas das principais abordagens utilizadas na construção de ambientes aplicados à simulação, entretenimento e educação. São destacados o uso de agentes inteligentes e os efetivos meios de comunicação entre o usuário e o ambiente, pela exploração das técnicas de processamento de linguagem natural. São apresentados dois estudos de casos, um ambiente virtual de apoio a educação a distância e uma livreria virtual, baseados na arquitetura de um ambiente virtual inteligente e adaptativo.

O texto está organizado como segue. Na seção seguinte, é apresentada uma introdução às diversas abordagens que combinam ambientes virtuais e técnicas de IA. São comentados os Agentes Inteligentes, o Processamento de Linguagem Natural e os Ambientes Anotados e Adaptativos, sendo que nas seções seguintes cada uma destas abordagens é detalhada. Na seção *Agentes Inteligentes*, são comentadas as propriedades e arquiteturas de controle destes agentes, bem como são considerados os aspectos relacionados à percepção e ação dos mesmos no ambiente. Na seção *Processamento de Linguagem Natural* são apresentadas as principais abordagens para o uso destas técnicas em ambientes virtuais, tais como a descrição de cenas gráficas, a organização espacial das informações no ambiente e a exploração de síntese e reconhecimento de voz na interação entre o ambiente e os usuários. Na seção *Ambientes Anotados e Adaptados*, são comentados, respectivamente, os ambientes que agregam camadas de conhecimento aos seus objetos e os ambientes que possuem a capacidade de adaptar sua estrutura e apresentação conforme as características dos usuários. Em seguida, são apresentados o AdapTIVE (Adaptive Three-dimensional Intelligent and Virtual Environment), um ambiente virtual inteligente e adaptativo, e a aplicação deste em dois estudos de casos práticos: um ambiente de apoio a educação a distância, utilizado para a disponibilização de conteúdos educacionais; e um ambiente de apoio ao comércio eletrônico, que corresponde a uma livreria virtual. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM AMBIENTES VIRTUAIS

Os ambientes virtuais têm se tornado um mecanismo interessante para a simulação de comportamentos inteligentes em diferentes níveis. Conforme AYLETT AND CAVAZZA (2001), a inclusão de uma camada de IA em um sistema de RV pode ser justificada sob várias perspectivas: adição de um componente para

resolução de problemas para o ambiente virtual, como por exemplo, o planejamento de ações em aplicações interativas; agregação de um nível de conhecimento para suportar a representação conceitual do ambiente; aumento da interatividade no ambiente, por reconhecer interações com o usuário e determinar comportamentos adaptativos do sistema; e permitir a descrição de comportamentos causais como uma alternativa para a simulação física.

Uma das sub-áreas da IA que tem recebido especial atenção em AVs é a de agentes inteligentes. Estes agentes variam em comportamento e forma, podendo assumir uma variedade de papéis: humanos virtuais (RICKEL AND JOHNSON, 1997), criaturas fictícias (GRAND AND CLIFF, 1998) ou animais virtuais (REYNOLDS, 1987; TERZOPOULOS *et al.* 1994).

Uma segunda sub-área da IA cujas técnicas estão sendo aplicadas em AVIs, é a de Processamento de Linguagem Natural (PLN). O objetivo é explorar formas convenientes de acessar informação e controlar o ambiente virtual, bem como descrever e organizar seus componentes. A comunicação em linguagem natural (LN) para instruir o usuário na navegação pelo ambiente e para controlar as ações dos agentes virtuais tem sido adotada. Além disso, o uso de LN para a descrição de cenas gráficas e a aplicação de técnicas de processamento de informações para auxílio a organização das informações no ambiente têm sido propostos.

Além disso, as técnicas de aprendizado de máquina, tais como as Redes Neurais Artificiais (RNAs) (HAYKIN, 2001), têm sido aplicadas no tratamento da complexidade e *overhead* de processamento, associados, especialmente, nas simulações que envolvem modelos físicos e na computação de considerável volume de equações. Nestes casos, as RNAs são treinadas, off-line, para aprender um comportamento correspondente ao modelo físico. Posteriormente, o “modelo aprendido” é utilizado como um mapeamento funcional correspondente ao modelo físico. Um esforço neste sentido é o sistema NeuroAnimator (GRZESZCZUK *et al.* 1998), que compreende uma abordagem para a criação de animações realísticas, explorando as RNAs como uma alternativa à simulação física. Uma abordagem similar é apresentada por SIMON (2004), que aplica RNAs para o aprendizado de um modelo físico correspondente ao movimento de um pêndulo.

Os AVs também têm sido utilizados como uma ferramenta para a experimentação de técnicas associadas à Robótica. HEINEN AND OSÓRIO (2002) utilizam um ambiente virtual (Figura 1) para a simulação de um sistema de controle híbrido para robôs móveis autônomos. Para a validação do sistema proposto, foi implementado um simulador de robôs móveis (SimRob3D) que permite a utilização de diferentes modelos de ambiente tridimensionais, bem como a aplicação de diversos modelos sensoriais e cinemáticos associados aos robôs.

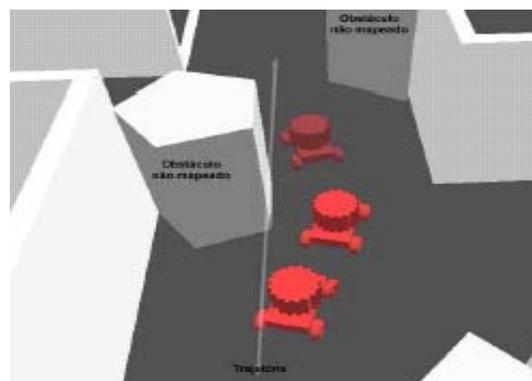


Figura 1. Simulador SimRob3D (HEINEN AND OSÓRIO, 2002).

Por outro lado, a inteligência do ambiente pode estar associada com a agregação de uma camada de conhecimento aos seus objetos. Neste caso, os ambientes são conhecidos como “anotados” (DOYLE AND HAYES-ROTH, 1997) ou “informados” (FARENCO *et al.* 1999). Estes ambientes associam informações geométricas e semânticas aos seus objetos, auxiliando os usuários na exploração do ambiente e provendo informações necessárias para as interações entre agentes e o ambiente.

Além destas abordagens, tem sido proposto o uso de modelos de usuários, que representam interesses e preferências dos mesmos, no processo de adaptação dos ambientes virtuais (CHITTARO AND RANON, 2002; SANTOS AND OSÓRIO, 2004). Conforme CHITTARO AND RANON (2002a), a capacidade de (semi)automaticamente adaptar o conteúdo, estrutura e/ou apresentação do ambiente, de acordo com as características dos usuários é cada vez mais considerado um fator chave para incrementar o nível de satisfação dos usuários. Em um shopping virtual, por exemplo, a possibilidade de alterar a disposição das lojas, conforme os interesses do usuário (impossível de ser feita em um shopping real e pouco efetiva em um ambiente bidimensional) pode tornar o ambiente ainda mais atrativo.

Nas seções seguintes, as principais abordagens que integram as técnicas de IA em AVs, comentadas superficialmente nesta seção, serão detalhadas.

Agentes virtuais inteligentes

Sob uma perspectiva geral, a abordagem de agentes inteligentes vem sendo largamente discutida e adotada por diversas áreas da Ciência da Computação, tais como Inteligência Artificial (IA), Redes de Computadores (RC), Sistemas de Informação (SI) e Computação Gráfica (CG). Apesar de ser uma das abordagens centrais da IA, rapidamente proliferou-se para as demais áreas. Essa característica interdisciplinar reflete o estado atual da abordagem, onde não se tem um consenso sobre a definição de um agente. Cada grupo de pesquisa segue uma determinada linha, apresentando a sua definição de acordo com os seus objetivos – GOODWIN (1994); MAES (1994); HAYES-ROTH (1995); RUSSELL AND NORVIG (1995); WOOLDRIDGE AND JENNINGS (1995); FRANKLIN AND GRAESSER (1996); TECUCI (1998).

Em AVs, o uso de agentes compreende uma das abordagens mais exploradas. Nesta seção é apresentada uma introdução à abordagem de agentes. São comentadas algumas das principais definições para o termo agente, as propriedades e classificações atribuídas aos mesmos, bem como são apresentadas as arquiteturas de controle e metodologias utilizadas na modelagem e implementação destes agentes. Além disso, no que tange os agentes virtuais inteligentes, são apresentadas as questões relacionadas a percepção e a ação dos mesmos no ambiente.

Definições e propriedades

RUSSELL AND NORVIG (1995) definem um agente como um sistema capaz de perceber as informações do ambiente onde está inserido através de sensores e reagir através de atuadores. De acordo com TECUCI (1998), um agente é um sistema baseado em conhecimento que percebe seu ambiente (uma interface gráfica de usuário, uma coleção de outros agentes, por exemplo); raciocina para interpretar percepções; resolve problemas e determina ações; e atua no ambiente para realizar um conjunto de tarefas para o qual foi designado. Segundo GARCIA AND SICHMAN (2003), os agentes inteligentes são personagens computacionais que atuam de acordo com um script definido, direta ou indiretamente, por um usuário.

Os agentes inteligentes podem ser caracterizados a partir de um conjunto de propriedades, as quais os diferenciam dos sistemas de

software tradicionais. Segundo WOOLDRIDGE AND JENNINGS (1995), eles possuem certas propriedades fundamentais: *autonomia* (operam sem a intervenção direta de humanos ou de outros agentes e têm algum controle sobre suas ações); *habilidade social* (interagem com outros agentes, humanos ou computacionais, ou com o próprio ambiente, por necessidade de resolução de problemas, conveniência ou auxílio a outros agentes); *reatividade* (percebem o ambiente e reagem às alterações nele ocorridas); *pró-atividade* (podem exibir um comportamento dirigido a objetivos, tomando iniciativas quando julgarem apropriadas).

FRANKLIN AND GRAESSER (1996) citam outras propriedades: *adaptabilidade* (habilidade que os agentes possuem em adquirir conhecimento a partir de suas experiências e adaptar seu comportamento conforme o conhecimento adquirido); *temporalmente contínuo* (o agente é um processo que está continuamente em execução); *mobilidade* (capacidade dos agentes navegarem entre máquinas, em redes de computadores); *flexibilidade* (habilidade dos agentes em agir quando as suas ações não estão descritas em roteiros pré-definidos); e *personalidade* (referente aos agentes que possuem uma personalidade e um estado emocional).

No contexto de agentes virtuais, especialmente humanos virtuais, THALMANN AND THALMANN (1994) indicam certas propriedades que podem ser consideradas na modelagem destes agentes: *comportamento* (maneira como o agente atua no ambiente); *percepção* (observações do agente, contempladas a partir de sensores físicos); *memória* (que representa o processo de recuperação do que foi aprendido, especialmente a partir de mecanismos associativos); *emoção* (definida como um aspecto efetivo de consciência, um estado de sentimento); *consciência* (estado que caracteriza sensação, emoção e vontade); e *liberdade* (caracterizada pela ausência de restrições na escolhas ou ações do agente).

Classificações para agentes

Uma forma de classificação para agentes inteligentes, geralmente adotada, está baseada no subconjunto de propriedades que os mesmos possuem. Pode-se atribuir uma classificação binária, considerando apenas uma propriedade, ou uma classificação múltipla, adotando várias delas. Por exemplo, seguindo uma classificação binária, pode-se dizer que um agente é móvel ou estacionário ou, seguindo uma classificação múltipla, indicar que o agente é móvel e não-adaptativo, dadas as propriedades de mobilidade e adaptabilidade.

Além disso, existem outras possibilidades de classificação, de acordo com: (a) a tarefa que o agente executa (para filtro de e-mail ou de informações, por exemplo); (b) arquitetura de controle (reativos, cognitivos, híbridos, baseados em estados mentais); (c) ambiente onde estão inseridos (web, base de dados, outros); e (d) tipo de conhecimento que possuem (preferências e interesses do usuário, informações sobre o negócio).

Alguns autores propõem classes ou denominações aos agentes. FRANKLIN AND GRAESSER (1996) apresentam uma classificação ampla, baseada em uma taxionomia biológica, dividindo os agentes em biológicos, robôs e computacionais. Os agentes computacionais são divididos em agentes de vida artificial e de software, sendo os últimos classificados em agentes baseados em tarefas, de entretenimento e vírus.

JENNINGS AND WOOLDRIDGE (1996) distinguem três classes, de acordo com o nível de sofisticação dos agentes: “gopher” (executam tarefas baseadas em regras pré-especificadas); “service performing” (realizam uma tarefa a partir de uma requisição do usuário); e “predictive” (disponibilizam informações ou executam

ações para o usuário, com certo grau de voluntariedade). Além disso, denominam agentes de usuários, os que possuem conhecimento sobre as preferências e interesses dos usuários, e agentes de negócios, os que detêm informações sobre o negócio (serviços, produtos, entre outras). BRENNER *et al.* (1998) distinguem três categorias, dependendo da tarefa que os agentes executam: informativos (que oferecem suporte ao usuário na busca de informações em fontes distribuídas); cooperativos (que atuam na resolução de problemas complexos, através de cooperação e comunicação com outros objetos, agentes ou fontes externas); e transacionais (cujas tarefas principais são processar e monitorar processos).

REILLY AND BATES (1992) apresentam os agentes emocionais (possuem um modelo de emoções e personalidade); MAES (1994) cita os agentes autônomos (realizam suas tarefas de forma essencialmente autônoma); SYCARA *et al.* (1996) apresentam os agentes de interface (que interagem diretamente com o usuário) e os de tarefa (auxiliam usuário na realização de tarefas, formulando planos para a resolução de problemas).

NWANA (1996) cita os colaborativos (ênfase na cooperação com outros agentes); móveis, reativos (agem em resposta a estímulos do ambiente, sem capacidade de raciocínio), e híbridos (possuem características dos agentes reativos e capacidade de raciocínio); RICKEL AND JOHNSON (1997) citam os agentes pedagógicos (atuam em ambientes educacionais); e AYLETT AND CAVAZZA (2000) definem os agentes virtuais (atuam em ambientes virtuais e possuem representações gráficas associadas), que podem ser classificados como agentes físicos (ênfase dada ao comportamento físico do agente no ambiente) ou cognitivos (ênfase atribuída às habilidades cognitivas do agente e à interação com o usuário do sistema).

GARCIA AND SICHMAN (2003) apresentam uma taxionomia na qual um agente é considerado um tipo especial de sistema computacional e que pode ser classificado segundo alguns eixos: cognitivo, de foco, de atuação e ambiental. No eixo cognitivo, os agentes podem agir baseados em modelos racionais de decisão (cognitivo) ou apenas em modelos de reação aos estímulos provocados pelo ambiente (reativo). No eixo de foco, eles enfatizam similaridades físicas (estrutural) ou comportamentais (comportamental) com humanos. Quanto ao eixo de atuação, os agentes podem atuar de forma isolada (isolado) ou com outros agentes (social). Por fim, o eixo ambiental divide os agentes em atuantes em desktop (agente de desktop) ou em uma rede internet ou Intranet (agente de internet).

Por fim, THALMANN (1996,1999) propõe uma classificação para os agentes virtuais humanos, baseada no grau de autonomia dos mesmos no ambiente: *avatares*, representações do usuário no ambiente; *atores guiados*, dirigidos pelo usuário através de ordens; *atores autônomos*, capazes de ter comportamento próprio (autonomia de controle); *atores interativos e perceptivos*, que interagem com o ambiente e se comunicam com outros atores.

A Tabela 1 apresenta uma síntese das principais classificações atribuídas aos agentes inteligentes. São apresentados os critérios que podem ser utilizados para classificá-los, juntamente com os tipos correspondentes.

Tabela 1: Classificações de agentes inteligentes

Critério	Classificação
Tipo de entidade	Real (humano, biológico, robô físico) ou computacional (de vida artificial, de software)
Tipo de similaridade com humanos	Estrutural (físico) ou comportamental

Arquitetura de controle	Reativo, cognitivo, híbrido, baseado em estados mentais, com modelo de emoções
Tarefa	Transacional, informativo, de negócio, de usuário, de interface
Grau de autonomia	Avatares, guiados, autônomo, interativos e perceptivos
Localização	Móvel, estacionário, distribuído
Ambiente de atuação	De desktop (ambiente fechado), de rede (ambiente aberto), pedagógico (ambiente educacional), virtual (ambiente virtual tridimensional)
Tipo de atuação	Isolada ou social (grupo, cooperativo ou não cooperativo).
Tipo de interação	Com usuário, com outros agentes, com o ambiente, múltiplo

Agentes em ambientes virtuais

Em ambientes virtuais, os agentes podem atuar como assistentes dos usuários na exploração do ambiente e localização de informações, podendo estabelecer uma comunicação verbal (em linguagem natural, por exemplo) ou não verbal (através de movimentação, gestos e expressões faciais) com o usuário. Podem, ainda, executar ações no ambiente, conforme solicitações do usuário. Deste modo, estes agentes requerem tanto interações físicas com o ambiente quanto planejamento e tomada de decisões (comportamentos cognitivos), de forma que possam atuar de forma efetiva no ambiente e nas interações com os usuários.

Conforme AYLETT AND CAVAZZA (2001), se forem considerados os diferentes aspectos de um agente virtual, uma série de possibilidades existem. Primeiro, um agente deve possuir um corpo, o qual deve se mover de forma fisicamente convincente pelo ambiente, e deve também possuir algum comportamento associado. Segundo, de forma que o agente pareça responsável pelo ambiente onde atua, deve existir um acoplamento entre o seu comportamento e o estado do ambiente. Por fim, o repertório comportamental de um agente virtual pode variar dependendo da aplicação: em alguns casos o foco está na interação física com o ambiente e, em outros casos, mais no comportamento cognitivo, usualmente expresso através de fala ou linguagem natural (síntese e reconhecimento de fala, por exemplo).

Deste modo, pode-se considerar que agentes virtuais requerem comportamentos cognitivos e físicos. Assim, deve existir uma integração entre percepção do ambiente, ação no ambiente e raciocínio e planejamento. Isto envolve o uso das técnicas de IA, no que tange os comportamentos cognitivos, e de CG, no que se refere aos comportamentos físicos (animação da estrutura gráfica) dos mesmos. Nas seções seguintes, estes aspectos serão comentados. Na seção *Percepção do ambiente*, são apresentadas as principais abordagens utilizadas para que os agentes possam perceber o ambiente em que atuam. Na seção *Ação no ambiente*, são comentados os aspectos relacionados às interações físicas dos agentes. As metodologias para a especificação de como os agentes se comportam durante a interação com o ambiente e na realização

de suas tarefas são comentadas na seção *Arquiteturas de controle*. Em seguida, a integração entre estes aspectos será comentada.

Percepção do ambiente

De forma que possam atuar no ambiente, os agentes virtuais devem percebê-lo. Deste modo, conforme AYLETT AND LUCK (2000), a percepção é uma interação entre um agente e seu ambiente. Os mecanismos utilizados para a percepção virtual variam desde a projeção de linhas a partir da parte frontal do agente até modelos inspirados no sistema de visão biológico.

O mais simples mecanismo de percepção virtual está baseado na projeção de uma linha a partir da parte frontal do agente. A percepção consiste em obter as informações sobre os objetos que intersectam esta linha. Esta abordagem é similar à utilizada pelos sistemas baseados em infravermelho, comumente usadas em Robótica. Uma abordagem aproximada é proposta por VILLAMIL (2003), onde a percepção dos agentes autônomos está baseada na utilização de uma região de percepção (Figura 2), que considera uma distância (d_i) e um ângulo de percepção (θ_i). Esta região compõe o campo de visão dos agentes no ambiente.

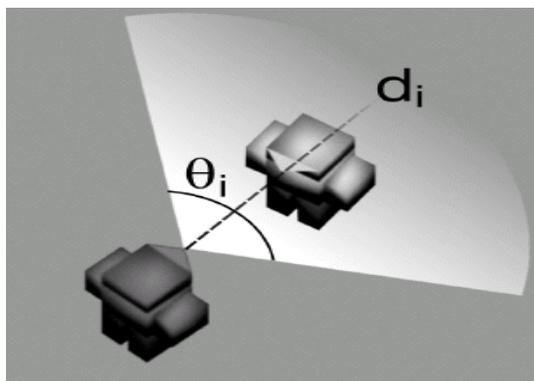


Figura 2. Região de percepção de um agente (VILLAMIL, 2003).

Outra forma de percepção virtual está baseada em um modelo de visão artificial inspirado em um modelo biológico. Esta abordagem é utilizada na percepção de peixes virtuais na proposta de TERZOPOULOS *et al.* (1994). Neste sistema, o campo de visão do agente é projetado a partir de uma retina artificial e algoritmos processam os pixels que se encontram dentro da esfera projetada, detectando os elementos do ambiente.

Uma abordagem intermediária consiste em um mecanismo baseado em trocas de mensagens. Um exemplo da aplicação deste mecanismo é o utilizado pelo agente STEVE (RICKEL AND JOHNSON, 1997), um agente pedagógico inserido em um ambiente baseado em Realidade Virtual para treinamento da utilização de equipamentos navais. No caso do STEVE, a percepção do ambiente está baseada no uso de um barramento de comunicação, que integra a base de conhecimento do agente com o mundo virtual onde ele está inserido. Por este barramento, são passadas mensagens que descrevem todas as alterações que ocorrem no ambiente, em termos dos atributos dos seus objetos. Deste modo, o agente mantém atualizado o modelo simbólico do ambiente, a partir do qual o seu raciocínio e ação estão baseados.

Ação no ambiente

Sob uma perspectiva geral, a atuação física de um agente virtual está baseada na movimentação da estrutura gráfica que o representa, o que pode envolver gestos e expressões faciais. A complexidade desta atuação varia conforme a sofisticação da

estrutura gráfica do agente, suas atividades no ambiente, e suas interações com objetos, outros agentes ou usuários do sistema.

Neste processo, são consideradas a modelagem geométrica da estrutura corporal do agente, usualmente suportada por *toolkits*, tais como 3DStudio e 3DMax, e a animação desta estrutura, o que envolve abordagens que enfatizam o realismo físico ou que visam dotar os agentes de um controle mais autônomo.

Uma forma simples de animação envolve a interpolação da estrutura do agente através de um conjunto de pontos, sem considerar animações periféricas, tais como a de braços e pernas. Este método é usualmente aplicado quando a atuação física do agente no ambiente não envolve interações sofisticadas, gestos ou expressões faciais.

No caso de interações mais sofisticadas, são utilizadas as técnicas de animação por computador, exploradas em Computação Gráfica. Dentre estas técnicas podem ser citadas as baseadas em *keyframes*, *motion capture*, procedural e baseada em bibliotecas de *scripts*. As duas primeiras técnicas consideram aspectos de mais baixo nível, relacionados aos movimentos físicos e ao correspondente realismo visual; enquanto as duas últimas oferecem um nível maior de abstração, estando baseadas na invocação de comportamentos, tais como caminhar, correr. É importante destacar que no contexto de animação, o termo comportamento difere do adotado em IA. Em CG, este termo se refere a uma animação pré-determinada, enquanto em IA envolve a ocorrência de eventos no ambiente que conduzem a uma reação.

De um modo geral, as técnicas de animação por computador envolvem a pré-determinação de um repertório de animações, sendo aplicáveis quando as ações são repetitivas, o que não requer o controle autônomo do agente. Conforme AYLETT AND LUCK (2000), considerando que os agentes virtuais têm uma estrutura corporal realística, um aspecto importante é prover um controle autônomo sobre ela, com o movimento do agente dado por uma ativação interna e não apenas como uma animação de sua superfície corporal. Neste contexto, a ação física de um agente virtual envolve não apenas cálculos referentes a animação de sua estrutura geométrica, mas também um controle autônomo em mais alto nível, associado a semântica das ações no ambiente.

Esforços em Computação Gráfica e Vida Artificial têm objetivado dotar os agentes virtuais em seus ambientes com um comportamento físico mais autônomo, no lugar de um comportamento pré-definido. Esta abordagem é proposta nas pesquisas em *animação comportamental* (REYNOLDS, 1987; TERZOPOULOS *et al.* 1994). Conforme PARENT (2002), a animação comportamental consiste em modelar elementos que obedecem a certas regras de comportamento.

Um dos primeiros trabalhos na área de animação comportamental foi o de REYNOLDS (1987), que simulou o comportamento de pássaros virtuais (Figura 3). Segundo este autor, movimentos complexos podem ser modelados a partir de um conjunto de regras simples, associadas a cada agente, tais como manter uma distância mínima de obstáculos e uma certa velocidade de movimentação.

Seguindo esta abordagem, TERZOPOULOS *et al.* (1994,1999) apresentam a simulação de grupos de peixes virtuais (Figura 4), onde cada um é dotado de percepção (visão artificial), controle de locomoção (baseado em um sistema massa-mola para impulsionar o peixe na água) e de um comportamento (baseado em um conjunto de parâmetros, tais como grau de fome e medo de predadores).



Figura 3. Simulação do comportamento de pássaros (REYNOLDS, 1987).



Figura 5. Simulação de humanos virtuais em uma evacuação (BRAUN et al. 2003).



Figura 4. Simulação do comportamento de peixes (TERZOPOULOS, 1999).

Além dos trabalhos relacionados com a simulação de animais virtuais, existe uma intensa pesquisa em animação comportamental envolvendo grupos de humanos virtuais (TOMAZ AND DONIKIAN, 2000; MUSSE, 2000; EVERS, 2003; VILLAMIL, 2003). Nestes ambientes, o controle dos humanos virtuais é feito a partir de um sistema baseado em regras, que guiam o comportamento dos mesmos. Esta abordagem pode ser utilizada para gerar uma hierarquia de objetivos que influenciam o movimento dos agentes. SCHWEISS *et al.* (1999) apresentam um sistema de regras que gerencia o comportamento de humanos virtuais. Neste sistema, os agentes possuem objetivos como “comprar um bilhete de passagem” e “tomar um trem”, seguindo uma hierarquia. Conforme AYLETT AND CAVAZZA (2001), o movimento de um agente virtual, considerando que combina movimentos voluntários, dirigidos a objetivos, com movimentos involuntários, dirigidos pela psicologia e biologia, envolve questões além da modelagem física. Se o movimento é gerado a partir de objetivos – algumas vezes descrito como animação baseada em tarefas – uma representação que combina um nível de objetivos simbólicos e o movimento executado é necessária.

Uma outra abordagem para a animação comportamental, é baseada em um modelo físico para a simulação comportamental de grupos de humanos virtuais em situações de emergência, proposta por BRAUN *et al.* (2003). É apresentado um modelo que considera características de indivíduos em grupos emergentes, que consiste em uma generalização do modelo físico de simulação de multidões proposto por HELBING (2000). A Figura 5 ilustra um screen-shot de uma simulação.

Por outro lado, além da animação da estrutura corporal do agente, a comunicação não-verbal, especialmente a relacionada com o uso de expressões faciais, tem sido assunto de intensa pesquisa em agentes conversacionais (CASSEL, 2000). Este tipo de comunicação envolve, além das técnicas para a animação da face do agente, fala sincronizada e entonação de voz.

Deste modo, o agente virtual requer usualmente um controle sobre as suas ações, que deve considerar a percepção/interação com o ambiente e também os seus objetivos. Isto leva a necessidade de que seja definida uma estratégia e/ou arquitetura de controle que irá ser responsável pelo controle das ações do agente e monitoramento dos eventos externos que ocorrem no ambiente onde este está inserido. As arquiteturas de controle são comentadas na seção seguinte.

Arquiteturas de controle

Uma arquitetura de agentes indica uma metodologia para a implementação de agentes. Através dela, é especificado como um agente se comporta durante a interação com o ambiente e na realização de suas tarefas. Segundo CORREA (1994), para definir a arquitetura de um agente é necessário conhecer o tipo de tarefa que o agente irá realizar e o seu papel no ambiente onde se encontra.

Estas arquiteturas podem ser classificadas de acordo com os mecanismos usados pelos agentes para selecionar uma ação (VICCARI AND GIRAFFA, 1996). Em função disso, sob a perspectiva da IA, as arquiteturas podem ser classificadas em: cognitivas, reativas, híbridas e baseadas em estados mentais. Nas seções seguintes, estas arquiteturas são comentadas.

É importante destacar que diferentes mecanismos para controlar a ação dos agentes virtuais em seus ambientes são utilizados pelos pesquisadores de IA e CG. Os pesquisadores da IA adotam abordagens que variam desde um “loop” simples do tipo estímulo – reação, e que não envolve raciocínio, até os baseados em estados mentais, onde o processamento interno de um agente é descrito utilizando um conjunto básico destes estados, tais como crenças, desejos, intenções e expectativa. Sob a ótica da CG, as bibliotecas de scripts vem sendo utilizadas como bibliotecas de comportamentos pré-determinados. Deste modo, a abordagem adotada para o controle de seus agentes varia de acordo com o grau de autonomia do agente no ambiente, o qual está intimamente relacionado com a aplicação e o tipo de atividade que o mesmo exerce.

Arquitetura reativa. Uma arquitetura é denominada reativa ou não-deliberativa quando a escolha da ação a ser executada está relacionada de forma direta com a ocorrência de eventos no

ambiente. Nessa arquitetura, o controle das ações do agente é realizado a partir de um comportamento do tipo situação – ação (ou estímulo – resposta). O agente age em um espaço de tempo, com base em uma pequena quantidade de informação, no instante em que recebe ou percebe algum sinal ou estímulo do ambiente.

Nesse tipo de arquitetura não há representação explícita do conhecimento sobre o ambiente (BRENNER *et al.* 1998). O conhecimento dos agentes é implícito e manifestado através de comportamentos, o que pode restringir a autonomia do agente e sua capacidade de aprender e melhorar seu desempenho. Outra característica marcante dessa arquitetura é a ausência de memória das ações passadas, sendo que o resultado de uma ação passada não exerce influência direta sobre as ações futuras.

Os agentes modelados a partir de uma arquitetura reativa, denominados reativos ou não-deliberativos, não possuem capacidade de raciocínio e planejamento, e por isso, são consideradas entidades mais simples do que os agentes cognitivos. São agentes baseados em comportamento, definido a partir da situação atual do ambiente e do conhecimento (entrada sensorial) que possuem. Além disso, as ações destes agentes são realizadas em resposta a estímulos oriundos do ambiente.

Como exemplos destes agentes, podem ser citados os robôs com uma arquitetura de controle reativa. Eles possuem um número de sensores que os permitem perceber o ambiente, e as informações recebidas pelos sensores são utilizadas para disparar a próxima ação no ambiente. Por exemplo, sempre que um sensor detecta um obstáculo, uma alteração na direção do movimento do robô deve ser realizada. É o típico caso “situação – ação”.

Arquitetura cognitiva. Uma arquitetura é dita cognitiva ou deliberativa quando a escolha da ação a ser executada pelo agente é realizada a partir de um modelo simbólico do ambiente e de um plano de ações. Essa arquitetura está fundamentada na produção de uma seqüência de ações (planos) para alcançar um determinado objetivo. Tais ações estão baseadas nas hipóteses de que o agente possui um conhecimento do ambiente e de outros agentes. Para isso, é mantida uma representação explícita do conhecimento sobre o ambiente, bem como um histórico das ações passadas.

Entretanto, a arquitetura cognitiva é tipicamente incapaz de agir rápida e adequadamente perante situações não previstas (GIRAFFA, 1997). Ela adota a hipótese de que as condições do mundo permanecem estáticas enquanto o agente estiver executando as suas ações ou processando alguma informação para deliberar sobre as ações. Por outro lado, essas arquiteturas apresentam objetivos explícitos, que podem ser alterados, bem como componentes de percepção, aprendizagem e raciocínio.

Os agentes modelados a partir de uma arquitetura cognitiva, denominados cognitivos ou deliberativos, raciocinam e decidem sobre quais objetivos devem alcançar, que planos seguir e quais ações devem ser executadas em um determinado momento. Deste modo, um agente executa uma ação inteligente quando, possuindo um certo objetivo e o conhecimento de que uma certa ação o conduzirá a este objetivo, seleciona esta ação.

Os agentes cognitivos agem de acordo com o seu conhecimento, porque dispõem de uma capacidade de raciocínio sobre uma base de conhecimento e aptidões para tratar de informações diversas. Tais informações estão ligadas ao domínio da aplicação e são relativas às interações entre os agentes e o ambiente (FROZZA, 1997). Além disso, planejam ações futuras a partir do raciocínio aplicado à memória das ações realizadas no passado.

Arquitetura híbrida. A arquitetura híbrida é aquela em que a escolha da ação é realizada usando uma combinação entre as técnicas utilizadas em arquiteturas cognitiva e reativa (GIRAFFA,

1997; HEINEN, 2001; HEINEN, 2002a). Essa arquitetura foi proposta como alternativa para solucionar as deficiências principais das duas arquiteturas anteriores. A arquitetura cognitiva é tipicamente incapaz de reagir rápida e adequadamente perante situações não previstas. Na arquitetura reativa, o agente é incapaz de descobrir alternativas para o seu comportamento quando a situação do mundo diverge bastante de seus objetivos iniciais. Além disso, o agente não possui capacidade de raciocínio e planejamento.

O objetivo é construir um agente atuante em dois subsistemas: o sistema cognitivo, que contém um modelo simbólico do mundo, utilizando planejamento e tomada de decisões, e o sistema reativo, capaz de reagir a eventos que ocorrem no ambiente.

Os agentes híbridos são normalmente projetados através de uma arquitetura hierárquica. Os níveis mais baixos representam o sistema reativo e são usados para a aquisição de informações do ambiente, de outros agentes ou de outras fontes. Os componentes cognitivos, responsáveis pelo planejamento e determinação de objetivos, são usados nos níveis mais altos (BRENNER *et al.* 1998).

Arquitetura baseada em estados mentais. A idéia básica de uma arquitetura baseada em estados mentais está em descrever o processamento interno de um agente utilizando um conjunto básico destes estados, tais como crenças, desejos, intenções, expectativa, entre outros. A arquitetura BDI (Belief, Desire, Intention) é um exemplo de arquitetura baseada em estados mentais, apesar de ser considerada por alguns autores uma estrutura deliberativa, pelo fato de manter uma representação simbólica do ambiente, expressa em crenças, desejos e intenções.

Segundo RAO AND GEORGEFF (1995), Belief (crença), Desire (desejo) and Intention (intenção) representam, respectivamente, a informação, a motivação e o estado deliberativo de um agente. De modo intuitivo, as crenças correspondem à informação que o agente possui sobre seu ambiente, desejos representam opções de estados futuros disponíveis ao agente (motivação) e intenções são os estados futuros que o agente escolheu e com os quais comprometeu-se (deliberação).

As crenças, segundo BRENNER *et al.* (1998) são as visões do agente diante do mundo, as expectativas que o agente possui para os estados futuros. É o conhecimento do ambiente, representado de forma explícita. Para RAO AND GEORGEFF (1995) é o componente informativo do estado do sistema, necessário para fornecer informações sobre o provável estado do ambiente.

Os desejos representam o julgamento dos estados futuros (BRENNER *et al.* 1998). O agente pode querer que um estado contido em suas crenças possa ocorrer no futuro. Eles representam o estado motivacional do sistema (RAO AND GEORGEFF, 1995). Um desejo é uma noção abstrata que indica as preferências sobre os estados futuros do ambiente. Representa uma situação ou conjunto de situações em que o agente gostaria que o mundo estivesse.

As intenções são as metas escolhidas conforme a prioridade do agente. Elas representam os componentes deliberativos do sistema (RAO AND GEORGEFF, 1995), que servem para decidir o curso de ação que deve ser tomado pelo sistema. É o resultado das escolhas, que leva o agente a uma ação.

Neste contexto, o raciocínio prático do agente envolve repetidamente atualizar as crenças a partir da percepção do ambiente, decidir quais opções estão disponíveis, filtrar estas opções para determinar novas intenções e agir baseado nestas intenções. A idéia é decidir qual ação executar que melhor atenda os objetivos dos agentes. Em suma, envolve decidir quais metas devem ser atingidas e como isso será feito.

O uso desta abordagem para a modelagem de agentes virtuais cognitivos, com a finalidade de implementar personagens

animados é proposto por TORRES *et al.* (2003). O sistema de raciocínio dos agentes, baseado em estados mentais definidos a partir da metodologia BDI, dirige o comportamento autônomo dos agentes em um sistema de animação.

Outras arquiteturas. No contexto de sistemas multiagentes, a metodologia AEIO (DEMAZEAU, 1995) considera o problema a ser modelado como composto por quatro elementos: **Agents**, **Environment**, **Interactions** e **Organization**. Na definição desses elementos, são considerados, respectivamente: o número de agentes e seus tipos (cognitivos ou reativos, por exemplo); as características do ambiente (dependentes do domínio do problema); as interações entre os agentes; e os mecanismos de coordenação e cooperação entre os agentes.

Outra metodologia que considera a interação entre agentes é a KSI (MUSSE, 2000), utilizada na modelagem de agentes virtuais em ambientes que envolvem multidões. Tal metodologia é composta por três tipos de informações: **Knowledge** (conhecimento que o agente possui sobre os outros agentes, o ambiente e as ações passadas), **Status** (atributos individuais, tal como estado emocional da entidade) e **Intentions** (objetivos do agente, tais como ir a algum lugar, comunicar-se, outros). Esta metodologia é aplicada no trabalho de EVERS (2003), onde é descrito um modelo para simulação de grupos de humanos virtuais. O modelo utiliza uma abordagem microscópica para criar multidões, partindo de indivíduos complexos, que possuem intenções, emoções e memórias (que provêm “conhecimento” aos indivíduos que aprendem baseados em experiências passadas). O agrupamento dos humanos virtuais é feito com base em seus conhecimentos em comum.

Uma metodologia de mais alto nível é apresentada em AYLETT AND CAVAZZA (2001), onde é proposto descrever o comportamento de um agente com base em três níveis: movimento, ação e intenções. O movimento corresponde à simulação física (animação) no ambiente virtual; as ações correspondem aos padrões de movimentos requeridos para executar ações específicas; e intenções se referem os objetivos de alto nível do agente.

Por fim, nas abordagens de VA, onde, de um modo geral, a ênfase está na simulação de comportamentos de grupos de animais, as arquiteturas comportamentais refletem comportamentos baseados em estímulos e um motor de respostas, responsável por animar o corpo. No entanto, conforme AYLETT AND CAVAZZA (2001), sensores de entrada idênticos podem produzir comportamentos diferentes, de acordo com regras internas, que tem função de ativar partes diferentes do repertório comportamental.

Integrando percepção, controle e ação

Para um agente virtual inteligente, a inteligência compreende vários componentes, tais como percepção, aprendizado, comunicação em linguagem natural e raciocínio, todos integrados (AYLETT AND CAVAZZA, 2001). Deste modo, um comportamento inteligente envolve definir a melhor seqüência de ações, considerando os objetivos do agente e a situação corrente do ambiente. Assim, os agentes virtuais envolvem níveis cognitivos (raciocínio e planejamento) e níveis físicos (ação - animação). O aspecto importante é como estes níveis podem ser integrados. Nas seções anteriores, foram apresentadas as abordagens que compreendem percepção, ação e arquiteturas de controle. Nesta seção serão comentados trabalhos que exploram a integração entre os níveis cognitivos e físicos.

Conforme AYLETT AND CAVAZZA (2001), uma forma primitiva de integração entre estes níveis, envolve o uso de algoritmos de IA

e primitivas de animação, como pode ser ilustrado no exemplo de planejamento de trajetória. Neste caso, as técnicas de planejamento são acopladas diretamente com o nível de animação. Estas técnicas consistem em encontrar o melhor caminho entre um ponto inicial e um ponto destino, considerando a presença de obstáculos neste caminho. Estas técnicas foram originalmente exploradas em aplicações de robôs autônomos (LATOMBE, 1991) e vêm sendo aplicadas em ambientes virtuais (KUFFNER, 1998; BANDI AND THALMANN, 1998; 2000). Um dos mais conhecidos algoritmos de planejamento de trajetória é o A* (NILSSON, 1980).

Um exemplo do uso de planejamento de trajetória, juntamente com primitivas de animação é apresentado por CHITTARO *et al.* (2003). A abordagem é utilizada para a navegação autônoma de um agente virtual – Figuras 6 (a) e 6 (b) – de acordo com os objetivos do usuário. No ambiente, o agente virtual é designado a auxiliar o usuário na navegação por um museu virtual. A partir da descrição dos lugares ou objetos de interesse a serem visitados, o agente cria autonomamente a trajetória apropriada (Figura 7).

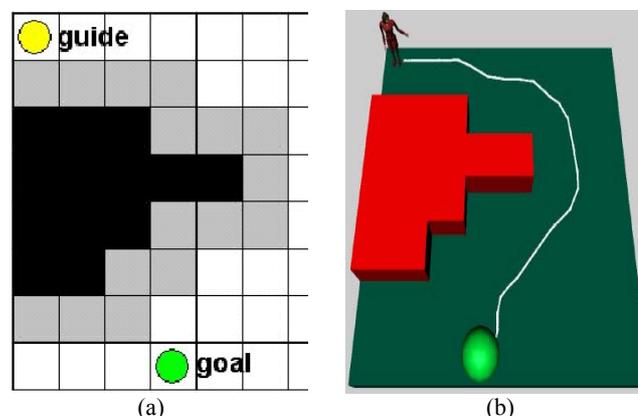


Figura 6. Planejamento de trajetória para um agente virtual (CHITTARO *et al.* 2003).

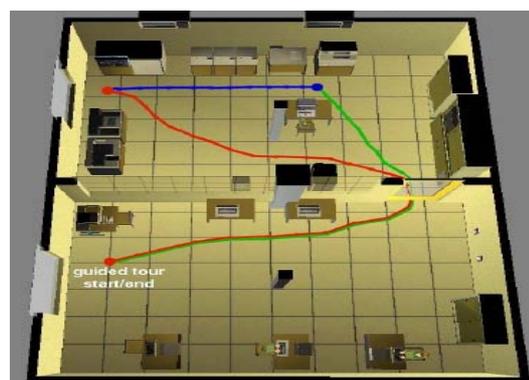


Figura 7. Trajetória criada pelo agente para uma visita ao museu virtual (CHITTARO *et al.* 2003).

Outro exemplo de uso de técnicas de planejamento em IA é o agente STEVE. Considerando que ele age como um tutor ou demonstrador em um domínio onde o estudante está tentando aprender os procedimentos para operar uma máquina, é mantido, em um nível cognitivo, a representação de um plano (seqüência de ações), que guia o seu comportamento no ambiente. O formalismo de planejamento adotado permite a representação das ações como um conjunto de nodos ligados por links causais (um link causal ocorre quando o efeito de uma ação é a precondição para a execução de outra). As seqüências de ações são definidas em um plano, repassado a um componente responsável por executá-lo em

um nível físico. Neste caso, o monitoramento da execução das ações é uma fonte de percepção. Além disso, STEVE é um exemplo de agente com componente cognitivo orientado a objetivos, o qual permite a ele selecionar sua própria ação, com base em seu plano de ações.

Outros exemplos de abordagens que combinam o uso de arquiteturas de controle e primitivas de animação são apresentados nos trabalhos de EVERS (2003) e TORRES *et al.* (2003), comentados na seção *Arquiteturas de controle*. Nestes trabalhos, as metodologias KSI e BDI são utilizadas para definir um comportamento em nível cognitivo dos agentes, guiando a atuação física dos mesmos no ambiente.

Além disso, distinções entre níveis cognitivos e físicos são apresentadas por PERLIN AND GOLDBERG (1996) e THALMANN AND THALMANN (1995). PERLIN AND GOLDBERG introduzem uma distinção entre controle de animação em baixo nível e um comportamento em alto nível, apresentando a arquitetura IMPROV. Esta arquitetura está baseada em uma biblioteca de scripts e suporta um controle de alto-nível de animação de atores virtuais. THALMANN AND THALMANN (1995) apresentam uma distinção entre controle de movimento e padrões comportamentais mais complexos.

Por outro lado, um aspecto importante na atuação de agentes virtuais consiste na interação com os usuários. Na seção seguinte, a aplicação de técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN) como forma de prover interações com os usuários são comentadas.

Processamento de Linguagem Natural

Além dos agentes inteligentes, o Processamento de Linguagem Natural (PLN) é outra sub-área da IA cujas técnicas vêm sendo largamente aplicadas em ambientes virtuais. O objetivo é explorar formas convenientes de acessar informação e controlar o ambiente virtual, bem como descrever e organizar seus componentes. A comunicação em linguagem natural (LN) para instruir o usuário na navegação pelo ambiente e para controlar as ações dos agentes virtuais (para realização de determinada ação no ambiente) tem sido adotada. Além disso, o uso de LN para a descrição de cenas gráficas e a aplicação de técnicas de processamento de informações para auxílio a organização das informações no ambiente têm sido propostos.

Sob a perspectiva da interface com o usuário, a comunicação envolve diálogos em LN, em forma escrita, e a síntese e reconhecimento de voz. No primeiro caso, os *chatterbots*, aptos a estabelecer um diálogo com os usuários, têm sido explorados especialmente em ambientes 2D. No segundo caso, a criação de padrões, tais como o JSAPI, e a disponibilização de implementações dos mesmos, como por exemplo, os pacotes FreeTTS e IBM Via Voice, tem promovido a exploração de comunicação utilizando voz em ambientes virtuais.

Um exemplo de comunicação em LN com síntese de voz para a manipulação de objetos em um ambiente virtual é apresentado por BERSOT *et al.* (1998). Neste ambiente, um agente conversacional, Ulysses (Figura 8), aceita comandos em LN para a manipulação de objetos no ambiente, e um sintetizador de voz é utilizado para responder as solicitações do usuário.

Uma abordagem similar é proposta por MILDE (2000), em seu sistema Lokutor. No ambiente, um agente virtual atua como um assistente de vendas, e sua tarefa principal é apresentar produtos ao usuário. O agente está apto a estabelecer um diálogo em linguagem natural com o usuário. A entrada em LN é analisada por um *parser*, responsável por extrair características relevantes do diálogo e repassá-las a um sistema deliberativo, encarregado pela definição do comportamento do agente e determinação da

próxima ação. Os aspectos de diálogo do agente estão baseados na utilização de um manual do produto. A Figura 9 ilustra uma seqüência de ações do agente durante a apresentação de um produto ao usuário.



Figura 8. Agente Ulysses caminhando pelo ambiente (BERSOT *et al.* 1998).

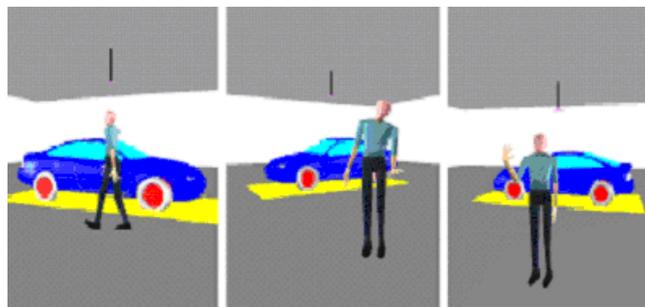


Figura 9. Apresentação do produto pelo agente (MILDE, 2000).

NIJHOLT AND HULSTIJN (2000), apresentam um agente informacional que se comunica com o usuário através de linguagem natural escrita. No ambiente, que consiste em um teatro virtual, os usuários podem navegar, visitando salas de concerto, e interagindo com o agente (Figura 10), que possui informações sobre shows, músicos e ingressos. Além da comunicação em LN, o agente apresenta diferentes expressões faciais.



Figura 10. Agente informacional (NIJHOLT AND HULSTIJN, 2000).

A síntese de voz é explorada no agente STEVE (Figura 11). Os procedimentos para o uso de um equipamento são apresentados, passo-a-passo, através da movimentação do agente, que aponta para partes importantes do equipamento, e faz a explanação de cada passo através de voz, como por exemplo, "pressione este botão".

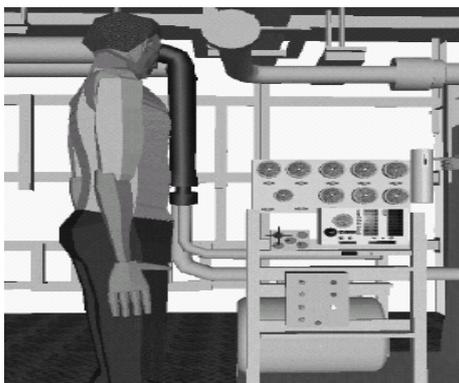


Figura 11. STEVE no ambiente em que atua (RICKEL AND JOHNSON, 1997).

Além da comunicação em LN, escrita ou baseada em voz, para prover assistência e informações aos usuários, a LN têm sido aplicada no controle de agentes virtuais. Esta abordagem é apresentada no projeto AnimNL (Animation from Natural Language) (WEBBER *et al.* 1995), que explora o uso de instruções em LN no controle de animações de agentes. Este processo envolve o uso de um framework que faz a análise semântica das instruções e caracteriza as ações correspondentes. Uma instrução em LN para a movimentação do agente pode ser dada, por exemplo, através da frase “Desloque-se até a cozinha e pegue um café”.

Uma abordagem similar é apresentada por CAVAZZA AND PALMER (1999) que descrevem uma interface baseada em LN para o controle de atores semi-autônomos em jogos (Figura 12). No sistema, as seqüências de ações dos agentes são invocadas em resposta as instruções em LN.



Figura 12. Interface em LN para o controle de atores virtuais (CAVAZZA AND PALMER, 1999).

Além disso, CAVAZZA *et al.* (2002) e MEAD *et al.* (2003) apresentam uma interface baseada em voz para um sistema interativo onde o usuário é um ator ativo no curso da estória. O sistema consiste em um ambiente 3D onde atores virtuais e usuários interagem. São aceitos comandos de voz do usuário para a manipulação dos atores virtuais no ambiente (Figura 13).



Figura 13. Usuário interagindo com um sistema baseado em comandos de voz (CAVAZZA *et al.* 2002).

Além da aplicação de LN na interação com o usuário, outra possibilidade consiste na sua utilização para a descrição e criação de cenas gráficas. Um exemplo de uso desta abordagem é apresentado por CLAY AND WILHELMS (1996), que propuseram uma interface baseada em linguagem natural para a construção de cenas gráficas. No sistema, descrições em linguagem natural substituem interfaces tradicionais para a construção de uma cena, a partir da descrição dos objetos 3D. Para a descrição das cenas, foram utilizadas relações tais como “em”, “sobre”, “sob” e certos parâmetros da cena, tais como a posição do visualizador e a dimensão dos objetos, para determinar o posicionamento dos mesmos no ambiente. Os comandos em linguagem natural podem ser usados na criação de cenas gráficas complexas e na determinação de restrições para o posicionamento dos objetos.

Por outro lado, as técnicas de PLN também têm sido utilizadas no processamento de informações, aplicado às tarefas de organização e recuperação de documentos textuais. Técnicas de aprendizado de máquina e de PLN têm sido aplicadas na automatização dos processos de categorização e agrupamento de textos – vide SEBASTIANI (2002). A utilização desta abordagem em ambientes virtuais é proposta por SANTOS AND OSÓRIO (2003). No ambiente virtual proposto, os conteúdos são organizados espacialmente conforme as áreas do conhecimento a que pertencem. Um processo de categorização automático de conteúdos textuais é aplicado na definição da categoria do conteúdo e, a partir da mesma, é feita a definição da posição espacial que o conteúdo deverá ocupar no ambiente.

Ambientes Anotados e Adaptados

Além dos Agentes Inteligentes e das técnicas de Processamento de Linguagem Natural, a agregação de uma camada de conhecimento aos objetos do ambiente tem sido explorada em Ambientes Virtuais Inteligentes. Neste caso, os ambientes são conhecidos como “anotados” (DOYLE AND HAYES-ROTH, 1997) ou “informados” (FARENC *et al.* 1999). Eles associam informações geométricas e semânticas aos seus espaços e objetos, auxiliando os usuários na exploração do ambiente e provendo informações necessárias para as interações entre agentes virtuais e o ambiente.

Conforme KALLMAN AND THALMANN (1999), isto sugere que os objetos sejam definidos não apenas como uma coleção de polígonos na cena gráfica, mas que sejam anotados com características associadas as suas funcionalidades. Esta abordagem permite que a complexidade da interação seja distribuída através dos diversos componentes do ambiente, especialmente nos casos onde existem interações entre agentes e objetos ou entre usuários e objetos. Além disso, pode suprir a necessidade de se ter objetos interativos no ambiente.

Um dos principais trabalhos em ambientes anotados é proposto por KALLMANN (1998,1999,2000), que apresenta o uso de *smart objects*, objetos que agregam conhecimento sobre suas funcionalidades e a interação com os agentes e/ou usuários que atuam no ambiente. Na interação entre um agente virtual e um elevador (Figura 14), por exemplo, o elevador agrega a especificação da seqüência de ações que deve ser executada para que o agente desloque-se do andar corrente para outro. Deste modo, os agentes não precisam armazenar as seqüências de ações envolvidas nas interações com os objetos do ambiente, considerando que as mesmas estão associados a cada objeto.



Figura 14. Agente interagindo com um elevador (KALLMAN AND THALMANN, 1998).

Uma abordagem semelhante é adotada por FERREIRA *et al.* (2002), onde o ambiente é modelado incluindo informações geométricas e semânticas. As informações geométricas estão relacionadas com a localização de pontos no ambiente, caminhos até determinados locais e regiões para caminhar, e as informações semânticas correspondem aos aspectos comportamentais do ambiente, tais como estados emocionais a serem assumidos pelos agentes virtuais e informações relacionadas às características de determinado local (como por exemplo, se é confortável e bonito). No processo de decisão, os agentes utilizam as informações encontradas no ambiente. Por exemplo, um agente pode se tornar triste, quando passa próximo de um cemitério, ou feliz se passa por um jardim.

Por outro lado, em ambientes onde a interação com o usuário recebe especial atenção, abordagens recentes propõem a adaptação da apresentação ou da estrutura do ambiente, conforme as preferências e interesses de seus usuários. Estas possibilidades vêm sendo exploradas por CHITTARO AND RANON (2000; 2000a; 2002; 2002a). É proposto um ambiente virtual adaptativo, que consiste em uma loja virtual, onde os usuários podem navegar e obter informações sobre os produtos nele espalhados. As informações sobre os interesses e preferências dos usuários são utilizadas para a personalização do ambiente, sendo coletadas através de formulários e monitoração das ações do mesmo no ambiente (tais como produtos visualizados e compras efetuadas). Objetos que se deslocam no ambiente auxiliam o usuário na navegação e localização de produtos específicos. As Figuras 15 e 16 apresentam as adaptações no ambiente, juntamente com os objetos que trafegam pelo mesmo.



Figura 15. Adaptação na loja 3D e seus produtos que se deslocam (CHITTARO AND RANON 2002a).



Figura 16. Adaptação na loja 3D (CHITTARO AND RANON, 2002a).

Um ambiente virtual inteligente e adaptativo, que utiliza agentes como assistentes dos usuários na navegação pelo ambiente e recuperação de informações relevantes, bem como aplica um processo de categorização automática de conteúdos na organização dos mesmos no ambiente é explorado em dois estudos de caso, apresentados na seção que segue.

ESTUDOS DE CASOS

Conforme comentado nas seções anteriores, uma das principais áreas de aplicação da IA em Ambientes Virtuais Inteligentes é a de Agentes Inteligentes. Nos ambientes onde os agentes interagem com os usuários, eles podem atuar como assistentes na exploração do ambiente e localização de informações, podendo estabelecer uma comunicação verbal (em linguagem natural, por exemplo) ou não verbal (através de movimentação, gestos e expressões faciais) com o usuário. O uso destes agentes tem diversas vantagens: enriquecem a interação com o ambiente virtual (RICKEL *et al.* 2002); tornam o ambiente mais natural para o usuário (CHITTARO *et al.* 2003); evitam que os usuários sintam-se perdidos no ambiente (RICKEL AND JOHNSON, 2000).

Além disso, as técnicas de Linguagem Natural têm sido exploradas na criação de interfaces baseadas em comandos em LN e em síntese e reconhecimento de voz. Ainda, estas técnicas vêm sendo aplicadas no processamento de textos, aplicado à organização e recuperação dos mesmos.

Ao mesmo tempo, existe um crescente interesse na personalização de ambientes tridimensionais, a partir das características dos usuários que interagem no mesmo.

Nesta seção, é apresentado o AdapTIVE (Adaptive Three-dimensional Intelligent and Virtual Environment) (SANTOS, 2004), um ambiente virtual que tem a sua estrutura e apresentação adaptadas de acordo com os interesses e as preferências dos

usuários (representadas em um modelo de usuário) e conforme a manipulação (inserção ou remoção) de conteúdos no ambiente. Um processo de categorização automático de conteúdos é aplicado na criação de modelos de conteúdos, utilizados na organização espacial dos conteúdos no ambiente. No processo de adaptação, os modelos de usuário e de conteúdo são utilizados. Além disso, um agente virtual inteligente atua como assistente dos usuários na navegação pelo ambiente e na localização de informações relevantes.

Além disso, exemplos práticos envolvendo a utilização do ambiente AdapTIVE são apresentados em dois estudos de caso. No primeiro, é apresentado um ambiente de apoio a educação a distância, utilizado para a disponibilização de conteúdos educacionais. No segundo, é apresentada uma livreria virtual. Inicialmente, a arquitetura do ambiente AdapTIVE é comentada e os seus principais componentes detalhados, sendo que nas subseções seguintes os estudos de caso são apresentados.

O AdapTIVE

O ambiente virtual proposto consiste na representação de um mundo 3D, acessível através da Web, utilizado para a disponibilização de conteúdos. No ambiente, é dado suporte a dois tipos de usuários: requerentes da informação e provedores da informação. Os requerentes, representados por avatares, podem explorar o ambiente e solicitar auxílio ao agente virtual, para a navegação e localização de informações. Um modelo do requerente é mantido, de modo que o ambiente possa ser adaptado conforme os interesses e preferências do mesmo. Os provedores,

responsáveis pelos conteúdos a serem disponibilizados, são auxiliados pelo agente na organização das informações, e podem explorar o ambiente. Os conteúdos são agrupados conforme as áreas a que pertencem e possuem um modelo. Os modelos de conteúdos, de requerentes e de provedores são usados no processo de adaptação do ambiente.

A Figura 17 apresenta a arquitetura do ambiente. Conforme o modelo do usuário (requerente ou provedor) é feita a adaptação do ambiente. Esta adaptação envolve a personalização da apresentação e da estrutura do ambiente, onde os conteúdos de interesse do usuário são colocados, em uma ordem de visualização, mais próximos do que os conteúdos que não são de interesse. Este modelo contém informações sobre os interesses, preferências e comportamentos do usuário. Para a coleta dos dados utilizados na composição do modelo, são usadas as abordagens explícita e implícita. Na abordagem explícita, são aplicados questionários (para a coleta de dados, tais como nome e áreas de interesse), e na abordagem implícita são feitas observações da navegação no ambiente e verificação da interação com o agente (cujas informações serão registradas através do uso de sensores). A abordagem explícita é adotada para a aquisição de dados para composição de um modelo inicial, sendo a implícita aplicada para a atualização deste modelo.

Um módulo, gerenciador de modelos de usuários, é o responsável pela inicialização e atualização dos modelos, a partir das informações repassadas pelo usuário e sensores, respectivamente.

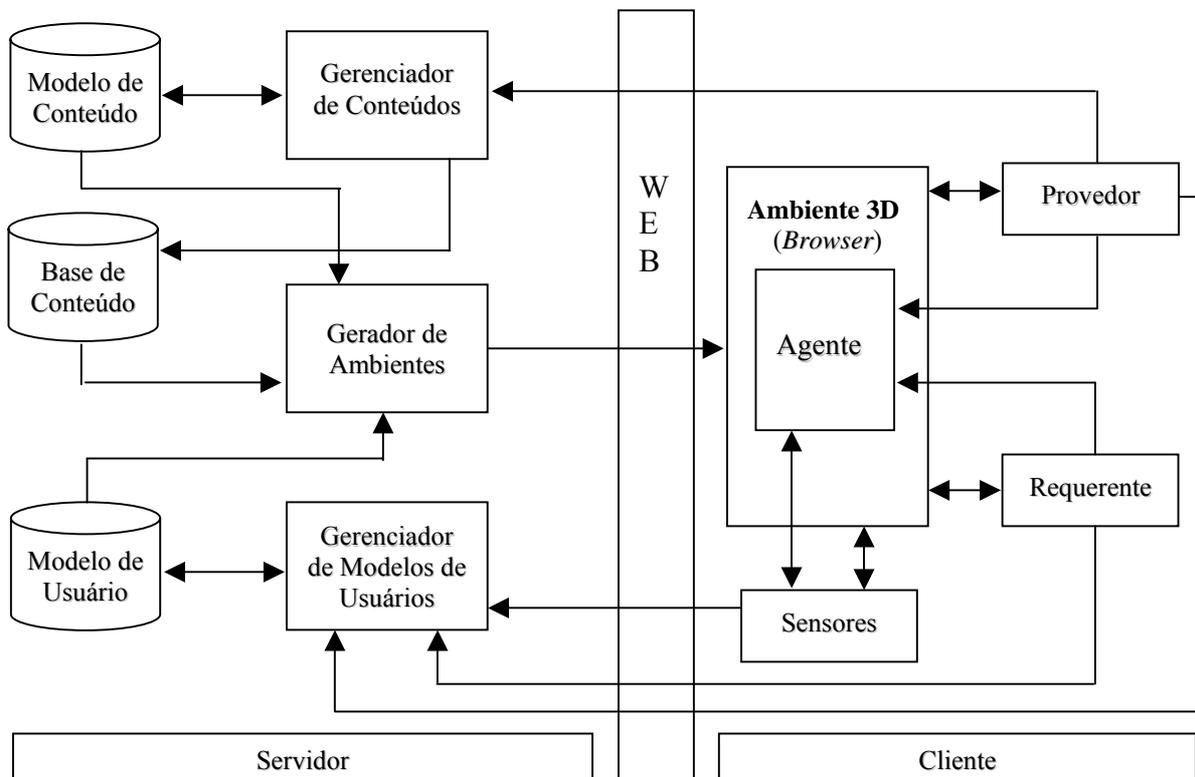


Figura 17. Arquitetura do AdapTIVE.

Os conteúdos adicionados, removidos ou atualizados pelo provedor, são gerenciados pelo módulo gerenciador de conteúdo e mantidos em uma base de conteúdos. Cada conteúdo contém um modelo associado (modelo de conteúdo), com informações

referentes a área ao qual pertence, tipo de mídia, palavras-chave que o caracterizam, entre outras. O provedor, auxiliado pelo processo de categorização automática de conteúdos textuais, atua na definição deste modelo. A representação das informações no

ambiente é feita através de componentes 3D, tais como objetos gráficos com hiperlinks para descrições mais detalhadas. Um módulo, gerador de ambientes, é o responsável pela geração das estruturas 3D que formam o ambiente, permitindo a construção de diferentes ambientes, de acordo com os modelos de usuário e de conteúdo. Além disso, este módulo repassa ao agente as informações referentes aos modelos dos usuários que estão interagindo com o ambiente e informações sobre os conteúdos e suas localizações, de forma que ele possua informações suficientes para o auxílio aos usuários.

Nas seções que seguem, são detalhados os principais componentes da arquitetura: gerenciador de modelos de usuários, gerenciador de conteúdos, gerador de ambientes, e agente virtual inteligente

Gerenciador de modelos de usuários

Este módulo é responsável pela inicialização e atualização dos modelos dos usuários. O modelo do usuário contém informações sobre os interesses, preferências e comportamentos do usuário. Para a coleta dos dados usados na composição do modelo, as abordagens implícita e explícita são utilizadas. A abordagem explícita é adotada na aquisição dos dados para composição de um modelo inicial do usuário, sendo a implícita aplicada para atualizar este modelo. Na abordagem explícita, um formulário é usado para coletar os seguintes dados: nome, e-mail, gênero, áreas de interesse e preferência por cores. As três últimas informações são utilizadas na adaptação inicial do ambiente. Na abordagem implícita, são realizadas a monitoração da navegação do usuário no ambiente e a verificação das interações como o agente.

O processo de atualização do modelo do usuário está baseado no emprego de regras e fatores de certeza (FC) (NIKOLOPOULOS, 1997; GIARRATO AND RILEY, 1998). As regras, permitem inferir conclusões (hipóteses) com base em antecedentes (evidências). Para cada hipótese, é possível associar um FC, o qual representa o grau de crença associado a hipótese. As regras são descritas no seguinte formato: SE Evidência(s) ENTÃO Hipótese com FC = x.

Os FCs associam medidas de crença (MC) e descrença (MD) a uma hipótese (H), dada uma evidência (E). Um FC=1 indica crença total em uma hipótese, enquanto CF=-1 corresponde a descrença total. O cálculo do FC é realizado a partir das equações (1), (2) e (3), onde P(H) correspondente a probabilidade da hipótese H ser verdadeira e P(H|E) correspondente a probabilidade da hipótese ser verdadeira, dada a evidência E.

$$FC = \frac{MC - MD}{1 - \text{MIN}(MC, MD)} \quad (1)$$

$$MC \begin{cases} 1 & \text{Se } P(H) = 1 \\ \frac{\text{MAX}[P(H|E), P(H)] - P(H)}{1 - P(H)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

$$MD \begin{cases} 1 & \text{Se } P(H) = 0 \\ \frac{\text{MIN}[P(H|E), P(H)] - P(H)}{0 - P(H)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

As evidências estão relacionadas com os locais visitados no ambiente e aos conteúdos solicitados e acessados pelo usuário. As hipóteses, inferidas com base nas evidências, correspondem aos interesses do usuário pelas áreas correspondentes. O interesse inicial do usuário em uma dada área – valor inicial para P(H) – é determinado pela coleta explícita e utilizados na organização inicial do ambiente. No decorrer da interação do usuário com o sistema, as evidências são coletadas e, conforme uma janela de

tempo para a atualização do modelo inicial (n sessões), os FCs, para cada área são mensurados. Para a inferência das hipóteses de interesse, as regras (4), (5), (6), (7) foram definidas. As regras (4), (5) e (6) são utilizadas quando as evidências de solicitação, navegação e/ou acesso existem. Neste caso, é feita a combinação das regras correspondentes as evidências existentes e o FC resultante é calculado conforme a equação (8). A regra (7) é especialmente usada quando não existem evidências, o que é considerado um desinteresse total do usuário pela área correspondente.

SE solicitou ENTÃO interesse em Y com FC = x (4)

SE navegou ENTÃO interesse em Y com FC = x (5)

SE acessou ENTÃO interesse em Y com FC = x (6)

SE (não solicitou) e (não navegou) e (não acessou) ENTÃO interesse em Y com FC = x (onde x<0) (7)

$$FC = \begin{cases} FC1 + FC2 (1 - FC1) & \text{Se ambos } > 0 \\ \frac{FC1 + FC2}{1 - \text{MIN}(|FC1|, |FC2|)} & \text{Se ambos } < 0 \\ FC1 + FC2 (1 + FC1) & \text{Se ambos } < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Deste modo, a cada n sessões (janela de tempo ajustável), para cada área, as evidências (solicitação, navegação e acesso) são verificadas, as inferências nas regras são feitas e os FCs correspondentes as hipóteses de interesse são mensurados. A partir da ordenação dos FCs resultantes, é possível estabelecer um ranking das áreas de interesse do usuário e verificar as alterações no modelo inicial, de forma a atualizá-lo. A partir da atualização, a re-organização do ambiente pode ser feita. Entretanto, simplesmente alterar a organização do ambiente pode desorientar o usuário. Portanto, a re-organização é sugerida ao usuário e autorizada pelo mesmo.

Gerenciador de conteúdos

Este módulo é responsável pelas inserções, remoções e atualizações de conteúdos no ambiente, e pelo gerenciamento dos modelos correspondentes. O provedor é o responsável pela definição dos modelos, podendo ser auxiliado pelo processo categorização automático, especialmente para conteúdos textuais.

Na inserção de um conteúdo, o provedor informa os dados para a composição do modelo através de um formulário. Dentre os dados utilizados, pode-se citar: categoria do conteúdo (dentre um conjunto pré-determinado), título, descrição, palavras-chave, tipo de mídia e arquivo correspondente. Para conteúdos textuais, o processo de categorização automático (invocado através do formulário), pode ser utilizado na extração da categoria do conteúdo e do conjunto de palavras-chave que o caracteriza.

O processo de categorização automático proposto está baseado na aplicação de técnicas de aprendizado de máquina. Em um conjunto de experimentos preliminares, as Árvores de Decisão (QUINLAN, 1993) apresentaram melhores taxas de categorização, sendo, então, adotado o algoritmo de aprendizado C4.5 no processo de categorização associado ao gerenciador de conteúdos.

Considerando que na aplicação deste tipo de técnica, é exigida a coleta prévia de um conjunto de exemplos para o aprendizado e validação do algoritmo, as áreas a serem contempladas no ambiente devem ser definidas e os exemplos correspondentes coletados. Após, deve ser realizado o pré-processamento dos exemplos e geração dos scripts a serem submetidos à ferramenta C4.5, para a geração do categorizador. Após, o “modelo aprendido” – regras extraídas da árvore – é conectado ao módulo

gerenciador de conteúdo, de forma que seja utilizado na categorização de novos conteúdos. Desta forma, quando um novo conteúdo textual é submetido ao processo de categorização automático, ele é pré-processado, categorizado e tem suas palavras-chave extraídas. A partir da categoria do conteúdo, a posição espacial que o mesmo deverá ocupar no ambiente é determinada.

Gerador de ambientes

O módulo gerador de ambientes é o responsável pela criação dos ambientes, conforme os modelos de usuários e conteúdos. A partir da verificação das áreas de interesse dos usuários e dos conteúdos disponíveis para as mesmas, são criados os ambientes adaptados. Na adaptação, os conteúdos correspondentes as áreas de maior interesse, são colocados, em uma ordem de visualização, mais próximos dos conteúdos correspondentes as áreas que não são de interesse.

Neste processo, uma aplicação em Java gera arquivos *.wrl* (VRML), contendo a estrutura 3D básica do ambiente (paredes, chão e teto), considerando as preferências por cores, definidas no modelo do usuário. Os arquivos *.wrl* são carregados por uma segunda aplicação, responsável por gerar os objetos 3D que representam os conteúdos no ambiente e distribuí-los espacialmente, conforme os seus modelos. Os objetos 3D que representam os conteúdos no ambiente podem conter pequenas descrições sobre os mesmos, especialmente nos casos dos conteúdos textuais. O usuário, a partir do clique na descrição do conteúdo pode, então, visualizar o conteúdo correspondente.

Além disso, este módulo repassa ao agente inteligente as informações pertinentes aos modelos dos usuários que estão interagindo com o ambiente e informações sobre os conteúdos e suas localizações, de forma que ele possua informações suficientes para o auxílio aos usuários.

O agente virtual

A função do agente no ambiente é assistir os usuários na navegação e localização de informações relevantes. Ele possui as seguintes características: percepção, habilidade para interagir,

conhecimento, certo grau de raciocínio e reatividade, e representação gráfica. A percepção representa as observações do agente durante a interação com o usuário, e sua habilidade de interação está relacionada com a troca de informações com o usuário. O conhecimento do agente representa as informações que ele possui sobre o ambiente, o qual pode ser atualizado durante a interação, conforme as alterações que ocorrem no ambiente. Além disso, ele possui certo grau de raciocínio e reatividade, o que lhe confere a capacidade de agir no ambiente, conforme a análise das solicitações do usuário.

Para a especificação de como o agente se comporta durante a interação com o ambiente e na realização de suas tarefas, foi selecionada a arquitetura de controle híbrida. A Figura 18 ilustra a arquitetura do agente. O conhecimento do agente, armazenado em uma base de conhecimento, contempla, principalmente, informações acerca do ambiente, envolvendo as informações sobre os conteúdos disponibilizados e suas localizações. Tais informações são advindas de uma fonte externa, que representa o módulo gerador de ambientes. Além disso, um mapa topológico do ambiente é mantido na base de conhecimento do agente. Neste mapa, um conjunto de rotas para posições-chave do ambiente é armazenado. De acordo com o mapa topológico e a informação que o agente possui do ambiente, o agente define o conjunto de rotas que deve ser seguido na localização de determinado conteúdo ou na navegação de sua posição atual até determinado local do ambiente. Considerando que o agente atualiza o seu conhecimento a cada modificação no ambiente, ele está sempre apto a verificar o conjunto de rotas que leva as novas posições dos conteúdos.

O módulo de percepção atua na observação da interação com os usuários, sendo as informações obtidas desta interação armazenadas na base de conhecimento do agente, para posterior utilização na atualização do modelo do usuário. É através deste módulo que o agente detecta as solicitações do usuário para auxílio à navegação e à localização de informações, as quais são feitas a partir de um diálogo em pseudo Linguagem Natural (LN), comentado a seguir; e observa as ações do usuário no ambiente (movimentação pelo ambiente).

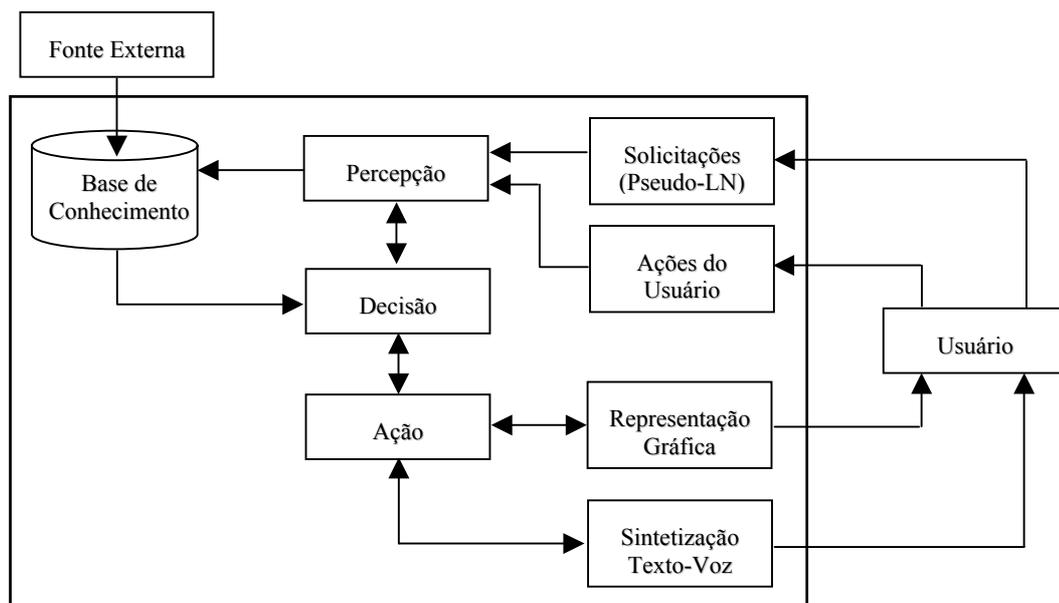


Figura 18. Arquitetura do agente.

A partir de sua percepção e do conhecimento que possui, o agente decide como agir no ambiente. O módulo de decisão é o

responsável por esta atividade. As decisões tomadas são repassadas ao módulo de ação, responsável pela execução das

decisões indicadas pelo módulo de decisão, a partir da manipulação da interface gráfica do agente e da sintetização de texto-voz de mensagens (comentadas a seguir), apresentadas ao usuário. Um sintetizador permite que as pequenas sentenças, também apresentadas em uma interface de comunicação textual, sejam convertidas para voz.

Deste modo, o agente possui dois tipos de comportamento: reativo e cognitivo. A partir de um comportamento cognitivo, o agente define quais as ações devem ser executadas para que os seus objetivos (navegação pelo ambiente ou localização de informações) sejam alcançados. Com um comportamento reativo, a partir da sua percepção, são geradas as ações, as quais envolvem a manipulação de sua representação gráfica (movimentação do corpo) e a sintetização texto-voz.

Em relação a comunicação entre o agente e os usuário, esta é realizada de um modo verbal, através de uma linguagem pseudo-natural, e de forma não verbal, através das ações do agente no ambiente. O diálogo em linguagem pseudo-natural é formado por um grupo pré-definido de perguntas e respostas, formadas por um verbo que corresponde ao tipo de requisição do usuário (auxílio a navegação ou localização de informações) e um complemento, indicando o objeto de interesse do usuário.

Durante a requisição de ajuda para localizar uma informação, por exemplo, o usuário pode indicar Localizar<conteúdo>; e para solicitar auxílio à navegação, o usuário pode indicar Navegar<área>. As respostas do agente são indicadas através de sua própria movimentação pelo ambiente, por indicações através de pequenas sentenças e por sintetização de texto-voz. Especialmente na interação com o provedor, durante a inserção de um conteúdo, ele pode indicar Inserir <conteúdo>, e o agente apresentará a interface para entrada dos dados para a especificação e identificação do modelo do conteúdo. Através desta interface, o processo de categorização pode ser invocado. Entretanto, como uma forma de simplificar o modelo de comunicação, algumas opções pré-definidas estão disponíveis ao usuário, através de um mecanismo de seleção de opções.

Nas seções seguintes, dois estudos de caso práticos envolvendo a aplicação da arquitetura AdapTIVE são apresentados.

Estudo de Caso 1: Um ambiente de apoio a Educação a Distância

O primeiro estudo de caso utilizando o AdapTIVE consiste no protótipo de um ambiente de apoio a educação a distância, utilizado para a disponibilização de conteúdos educacionais. Neste ambiente, é adotada uma divisão do mesmo, conforme as áreas do conhecimento dos conteúdos. A cada área estão associadas sub-áreas, representadas como sub-ambientes. Para o protótipo foram selecionadas as seguintes áreas e sub-áreas: Inteligência Artificial (IA) – Redes Neurais, Algoritmos Genéticos e Sistemas Multiagentes; Computação Gráfica (CG) – Modelagem, Animação e Visualização; Redes de Computadores (RC) – Segurança, Gerência e Protocolos; Engenharia de Software (ES) – Análise, Projeto e Qualidade de Software. A cada área está associada uma sala e as sub-áreas estão representadas como sub-salas. As Figuras 19 e 20 apresentam interfaces do protótipo que ilustram a divisão do ambiente em salas e sub-salas.



Figura 20. Salas do ambiente.

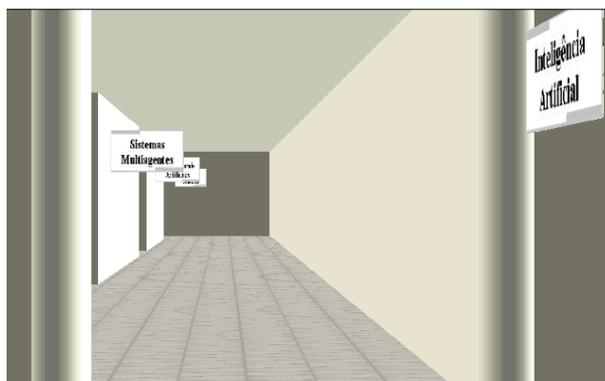


Figura 20. Sub-salas do ambiente.

Conforme o modelo do usuário, a re-organização destes sub-ambientes é feita: as salas que correspondem as áreas de interesse do usuário são colocadas, em uma ordem de visualização, antes das salas cujos conteúdos não são de interesse. Deste modo, não são eliminados do ambiente os conteúdos que não são de interesse do usuário, mas sim enfatizados os de interesse, permitindo que o usuário tenha a liberdade para visualizar conteúdos diversos.

O modelo inicial do usuário é usado na organização inicial do ambiente. Cabe destacar que são consideradas as preferências de cores na adaptação do ambiente. As Figuras 21 e 22 representam exemplos de adaptações iniciais da estrutura do ambiente. No ambiente da Figura 21, o usuário (de gênero feminino) tem interesse pela área de IA e no ambiente ilustrado na Figura 22, o usuário (de gênero masculino) tem interesse pela área de CG.



Figura 21. Usuário com interesse em IA.

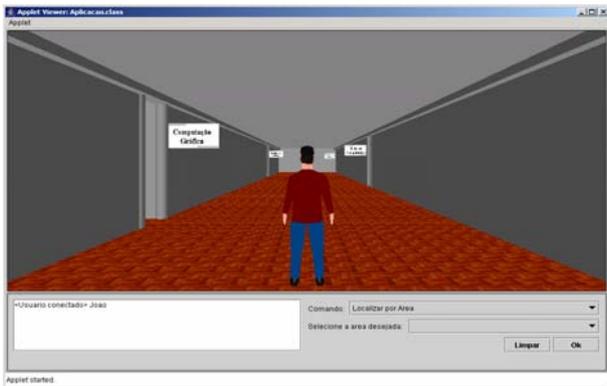


Figura 22. Usuário com interesse em CG.

À medida que o usuário interage com o ambiente, as evidências de navegação, solicitação e acesso aos conteúdos são coletadas e utilizadas no processo de atualização do modelo do usuário. Após n sessões (janela de tempo ajustável), para cada área, conforme as evidências coletadas, as regras são aplicadas e são calculados os FCs correspondentes. A partir da ordenação dos FCs, é feito um novo ranking das áreas de interesse do usuário e, deste modo, é feita a re-organização do ambiente. É importante ressaltar que as

alterações no ambiente são sugeridas ao usuário e apenas realizadas se autorizadas pelo mesmo.

Por exemplo, considerando um usuário com interesse em IA ($P(H) = 1$), indiferente quanto a CG ($P(H) = 0.5$) e RC ($P(H) = 0.5$) e que não apresenta interesse inicial em ES ($P(H) = 0$), o ranking inicial das áreas, em ordem decrescente de interesse, seria composto por IA, CG, RC e ES, conforme as $P(H)$ s correspondentes. Dadas as evidências coletadas a partir do acompanhamento do uso do sistema pelo usuário, apresentadas no gráfico da Figura 23, o ranking inicial, ao final da sétima sessão (janela de tempo considerada), deve ser reavaliado.

De acordo com o gráfico da Figura 23, é verificado que a área de RC não foi solicitada, navegada ou teve seus conteúdos acessados e, por outro lado, o usuário passou a navegar, solicitar e acessar a área de ES. Conforme apresentado no gráfico da Figura 24, um aumento do FC, correspondente a área de ES, pode ser observado. Desta forma, ao final da sétima sessão, os FCs resultantes seriam: 1, -1, 0.4 e 0.2 (IA, RC, CG, ES, respectivamente). Através da ordenação dos FCs resultantes, é possível detectar uma alteração no modelo inicial do usuário, onde o novo ranking das áreas de interesse seria: IA, CG, ES e RC.

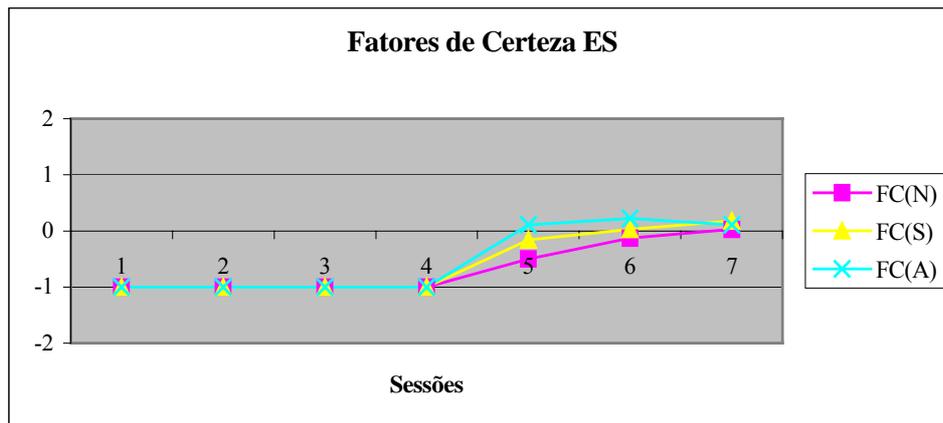


Figura 23. Número de solicitações (S), navegações (N) e acesso (A).

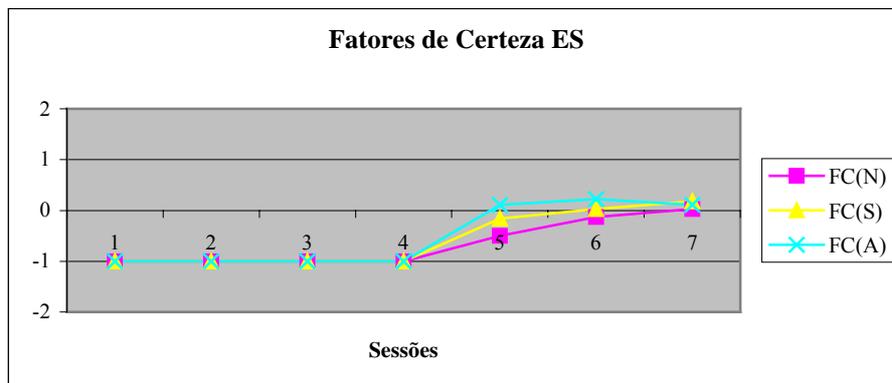


Figura 24. FCs correspondentes a área de ES, ao longo das 7 sessões.

As Figuras 25(a) e 25(b) representam um exemplo da organização do ambiente, sob a perspectiva 2D, antes e após uma modificação no modelo do usuário, conforme o exemplo acima.

As Figuras 26 e 27 apresentam a organização correspondente ao ambiente 3D.

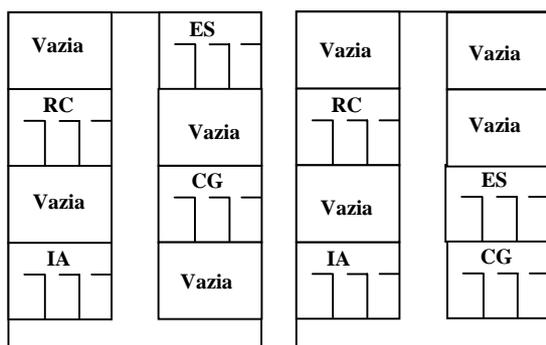


Figura 25. (a) organização do ambiente conforme modelo inicial; (b) organização do ambiente após alteração no modelo.

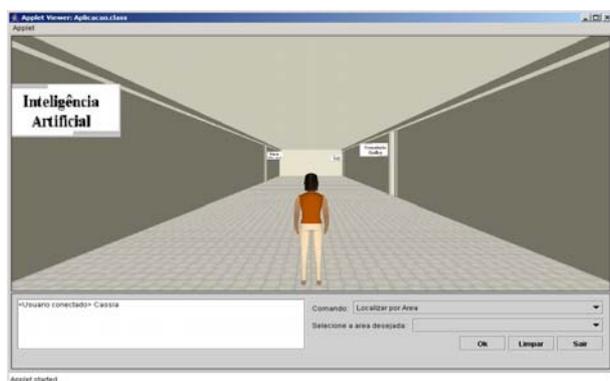


Figura 26. Organização do ambiente de acordo com o modelo inicial do usuário.



Figura 27. Organização do ambiente após alterações no modelo do usuário.

Por outro lado, em relação a manipulação de conteúdos no ambiente, o modelo do provedor é usado para indicar a área (Inteligência Artificial, por exemplo) que pertence o conteúdo que está sendo inserido, e o processo de categorização automático indica a sub-área correspondente, ou seja, a sub-sala onde o conteúdo deve ser inserido. Desta forma, a disposição espacial dos conteúdos é feita automaticamente pelo gerador de ambiente, a partir da categoria do conteúdo. Para o protótipo, foram coletados trinta exemplos de cada sub-área, a partir dos mecanismos de busca da web, para o aprendizado e validação do categorizador. Na etapa de aprendizado, foram realizados experimentos com as categorizações binária e múltipla. Com o uso de um categorizador binário, um conteúdo pode ser associado a mais de uma sub-área (categoria), e com um categorizador múltiplo, um conteúdo é assinalado como pertencente a uma única sub-área. Deste modo, a

cada área pode ser associado um categorizador múltiplo, que indica a sub-área a que pertence um conteúdo, ou a cada sub-área pode ser associado um categorizador binário, que indica se determinado conteúdo pertence ou não a mesma. Neste último caso, um conteúdo poderá pertencer a mais de uma sub-área. Nos experimentos realizados, os categorizadores binários apresentaram melhores resultados (menor erro e, conseqüentemente, maior abrangência e precisão), sendo adotados no protótipo. Deste modo, para cada sub-área, as regras obtidas da árvore de decisão (C4.5) foram convertidas para regras do tipo IF-THEN e associadas ao módulo gerenciador de conteúdos.

Em relação a interação entre o usuário e o agente, o usuário pode selecionar a solicitação que deseja emitir ao agente, em uma lista de opções, simplificando a comunicação. As respostas do agente são listadas em uma interface correspondente e sintetizadas para voz. As Figuras 28, 29, 30 e 31 ilustram, respectivamente: uma solicitação do usuário para a localização de determinada informação (agente se deslocando); a localização de uma área pelo agente; a visualização de um conteúdo, pelo usuário; e a visualização de detalhes de um conteúdo, após clique na descrição correspondente.

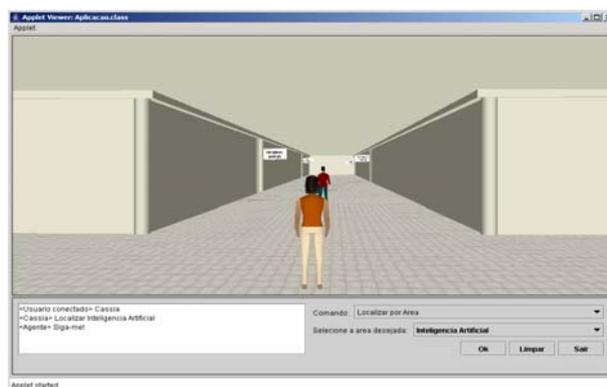


Figura 28. Solicitação do usuário ao agente.



Figura 29. Localização de uma área pelo agente.

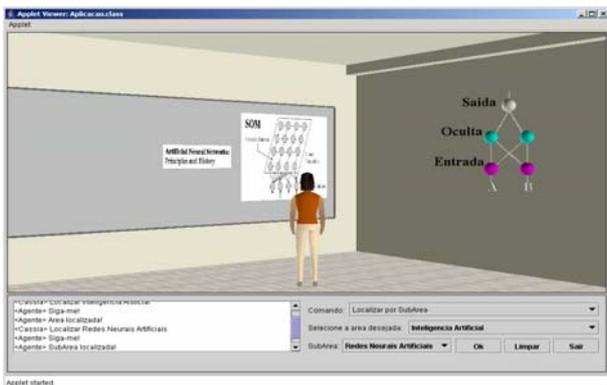


Figura 30. Visualização de conteúdos da sub-área RNA, da área IA.

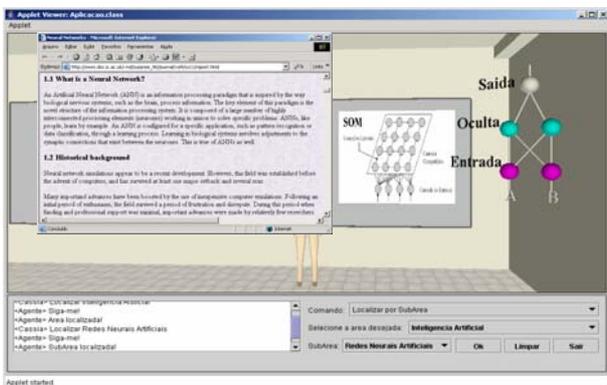


Figura 31. Visualização de detalhes de um conteúdo, após clique na descrição correspondente.

Além disso, um mapa 2D do ambiente é disponibilizado ao usuário, como um recurso adicional para a navegação pelo ambiente. A Figura 32 ilustra um exemplo do ambiente 3D, juntamente com o mapa 2D correspondente.

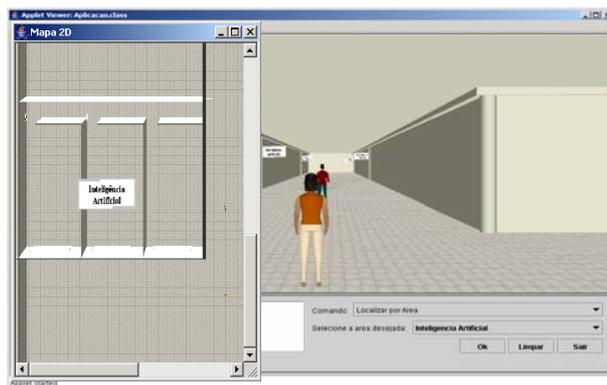


Figura 32. Ambiente 3D e mapa 2D correspondente.

Estudo de Caso 2: Livraria virtual

O segundo estudo de caso utilizando o AdapTIVE consiste no protótipo de uma livraria virtual. Assim como no ambiente apresentado no estudo de caso 1, foi adotada uma divisão do ambiente conforme as áreas (categorias) dos livros. Para este ambiente foram selecionadas as seguintes áreas e sub-áreas: Culinária – Alimentos, Bebidas e Sobremesas; Informática – Aplicativos, Hardware, Programação; Literatura – Biografias, Contos e Crônicas, Romance; Negócios – Economia,

Gerenciamento, Marketing; e Saúde – Atividades Físicas, Nutrição, Homeopatia. A cada área está associada uma sala e as sub-áreas estão representadas como sub-salas. As Figuras 33 e 34 apresentam interfaces do protótipo que ilustram a divisão do ambiente em salas e sub-salas.

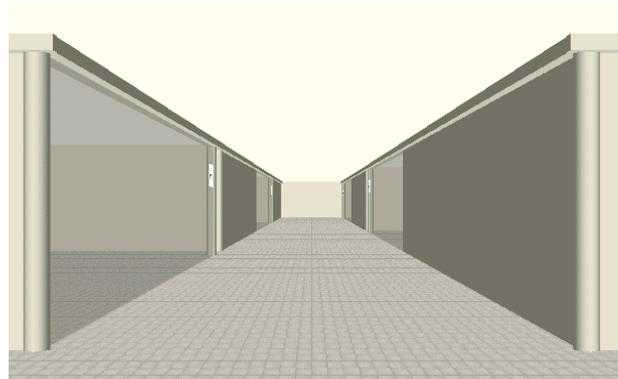


Figura 33. Salas do ambiente.

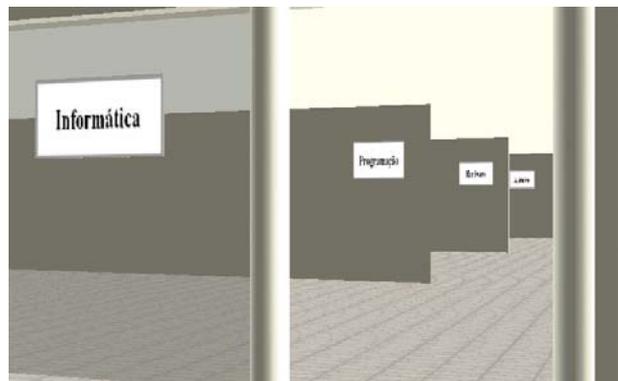


Figura 34. Sub-salas do ambiente.

A partir do modelo do usuário, que contém, principalmente, as categorias de livros de interesse, são feitas alterações na estrutura do ambiente. As salas correspondentes as categorias de livros de maior interesse são colocadas, em uma ordem de visualização, antes das salas cujas categorias não são de interesse. O modelo inicial do usuário é obtido pela coleta explícita (formulário) e a sua atualização é feita a partir da coleta implícita (monitoramento do comportamento do usuário durante a interação com o ambiente e com o assistente virtual).

No caso da livraria virtual, dado que o usuário pode efetuar a compra de livros, a evidência relacionada à compra deve ser considerada. Deste modo, uma nova regra deve ser adicionada e uma regra já definida (conforme seção *Gerenciador de modelos de usuários*) deve ser atualizada, como pode ser verificado abaixo.

- SE solicitou **ENTAO** interesse em Y com **FC** = x
- SE navegou **ENTAO** interesse em Y com **FC** = x
- SE acessou **ENTAO** interesse em Y com **FC** = x
- SE comprou **ENTAO** interesse em Y com **FC** = x
- SE (não solicitou) e (não navegou) e (não acessou) e (não comprou)
- ENTAO** interesse em Y com **FC** = x (onde x<0)

Em relação a representação das informações no ambiente, os livros são representados a partir de objetos 3D e links para as suas descrições detalhadas, conforme pode ser visto na Figura 35. Quanto a manipulação de conteúdos no ambiente, as descrições dos livros são utilizadas para o aprendizado do categorizador.



Figura 35. Representação de livros no ambiente.



Figura 36. Visualização de detalhes de um livro.

Em relação a interação entre o usuário e o agente, assim como apresentado no estudo de caso 1, na livraria virtual o usuário pode selecionar a solicitação que deseja emitir ao agente, em uma lista de opções. As respostas do agente são listadas em uma interface correspondente e sintetizadas para voz. A Figura 37 apresenta interação entre o agente e o usuário na localização de determinada área no ambiente.

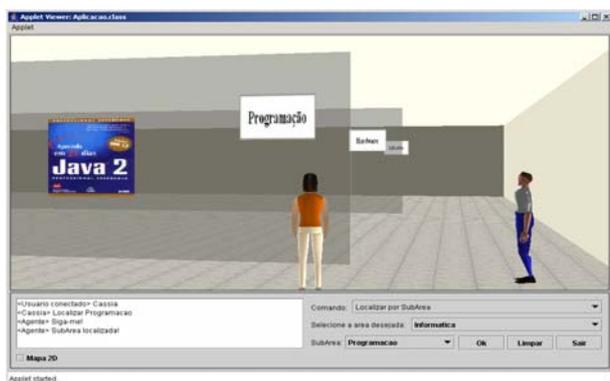


Figura 37. Interação entre o usuário e o agente.

CONCLUSÕES

Os Ambientes Virtuais Inteligentes abrangem um campo de pesquisa que combina as tecnologias para a construção de ambientes 3D e Inteligência Artificial/Vida Artificial. Este campo envolve diferentes grupos de pesquisa concentrados em diversos aspectos gráficos do ambiente e da inteligência embutida neste. De um lado, os pesquisadores de Computação Gráfica estão interessados em tornar os seus ambientes mais dinâmicos e realísticos. Ambientes imutáveis e com animações pré-definidas,

que não se alteram ao longo das interações com o usuário, podem limitar o interesse do mesmo. Por outro lado, os pesquisadores de IA e VA estão reconhecendo os AVs como uma opção para testar suas técnicas. Por exemplo, sistemas tutores podem explorar o uso de personagens tutores e interfaces inteligentes multi-modais, em lugar das interfaces bidimensionais. Além disso, a simulação de comportamentos sociais de animais a partir de ambientes virtuais tem sido proposta.

As técnicas que visam atribuir inteligência aos ambientes vêm sendo aplicadas em diferentes níveis e componentes. Elas podem estar associadas aos agentes ou objetos do ambiente, às interações com o usuário, à arquitetura do ambiente ou à forma como o ambiente se estrutura a partir das características de seus usuários.

No primeiro caso, os agentes inteligentes variam em comportamento e forma e têm sido assunto de intensa pesquisa. Além disso, a adição de uma camada de conhecimento aos objetos do ambiente permite que a complexidade da interação seja distribuída através dos seus diversos componentes, especialmente nos casos onde existem interações entre agentes e objetos ou entre usuários e objetos. Ainda, pode suprir a necessidade de se ter objetos interativos no ambiente.

Sob a perspectiva da interação com o usuário, as técnicas de Processamento de Linguagem Natural têm provido a exploração de diálogos em linguagem natural escrita, bem como o uso de interfaces baseadas em voz.

Por outro lado, as técnicas de aprendizado de máquina, tais como as Redes Neurais Artificiais (RNAs) têm sido aplicadas nas arquiteturas dos ambientes, envolvendo, por exemplo, o tratamento da complexidade e *overhead* de processamento, associados, especialmente, as simulações que envolvem modelos físicos. Além disso, os ambientes virtuais têm sido utilizados como uma ferramenta para a experimentação de técnicas associadas à Robótica.

Sob outra perspectiva, a utilização de modelos de usuários, que representam interesses e preferências dos mesmos, no processo de adaptação dos ambientes virtuais vem sendo explorada. Esta abordagem tem sido aplicada, por exemplo, na construção de ambientes de apoio ao comércio eletrônico, tais como as lojas virtuais e ambientes de apoio a educação a distância.

Por outro lado, a animação comportamental têm sido amplamente explorada, especialmente por pesquisadores da Computação Gráfica Vida Artificial, visando dotar os seus agentes ou animais virtuais de controles autônomos.

Neste mini-curso foi apresentada uma visão geral sobre os AVIs, comentando algumas das principais abordagens utilizadas na construção de ambientes aplicados à simulação, entretenimento e educação. Foram enfatizados o uso de agentes inteligentes e os efetivos meios de comunicação entre o usuário e o ambiente, pela exploração das técnicas de processamento de linguagem natural. Foi apresentado o AdapTIVE, um ambiente virtual inteligente que tem a sua estrutura e apresentação adaptadas de acordo com modelos de usuário e de conteúdo. Dois estudos de casos práticos utilizando a arquitetura AdapTIVE foram apresentados.

Deste modo, os Ambientes Virtuais Inteligentes correspondem a um amplo e diversificado campo de pesquisa que têm permitido a exploração de novas e avançadas formas de simulação, entretenimento e educação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Anastassakis et al. 2001] Anastassakis, G.; Ritching, T.; Panayiotopoulos, T. *Multi-agent Systems as Intelligent Virtual Environments*. LNAI 2174, 381-395, 2001.

- [Aylett and Cavazza, 2001] Aylett, R. and Cavazza, M. *Intelligent Virtual Environments – A state of the art report*. Eurographics 2001 Conference, Manchester, UK, 2001.
- [Aylett and Luck, 2000] Aylett, R. and Luck, M. *Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent Virtual Environments*. Applied Artificial Intelligence, v. 14, n. 1, p. 3-32, 2000.
- [Bandi and Thalmann, 1998] Bandi, S. and Thalmann, D. *Space Discretization for Efficient Human Navigation*. Computer Graphics Forum, v. 17, n.3, p.195-206, 1998.
- [Bandi and Thalmann, 2000] Bandi, S. and Thalmann, D. *Path finding for human motion in virtual environments*. Computational Geometry: Theory and Applications, v. 15, n. 1-3, p. 103-127, 2000.
- [Bersot et al, 1998] Bersot, O.; Guedj, P.; Godéreaux, C.; Nugues, P. *A Conversational Agent to Help Navigation and Collaboration in Virtual Worlds*. Virtual Reality, v. 3, n. 1, p. 71-82, 1998.
- [Braun et al. 2003] Braun, A.; Musse, S.; Oliveira, L.; Bodmann, B. *Modeling Individual Behaviors in Crowd Simulation*. Proceedings of the Computer Animation and Social Agents, p. 143-148, May, New Jersey, USA, 2003.
- [Brenner et al. 1998] Brenner, W.; Zarnekow, R.; Witting, H. *Intelligent Software Agents: Foundations and Applications*. Springer-Verlag, 1998.
- [Cassel, 2000] Cassel, J. *Embodied Conversational Agents*. MIT Press, Boston, 2000.
- [Cavazza et al. 1995] Cavazza, M.; Bonne, J.; Pouteau, X.; Pernel, D.; Prunet, C. *Virtual Environments for Control and Command Applications*. Proceedings of the FIVE'95 Conference, London, 1995.
- [Cavazza and Palmer, 1999] Cavazza, M and Palmer, I. *Natural Language Control of Interactive 3D Animation and Computer Games*. Virtual Reality, v. 4, p. 85-102, 1999.
- [Cavazza et al. 2001] Cavazza, M.; Charles, F.; Mead, S.; Strachan, A. *Virtual Actors' Behaviour for 3D Interactive Storytelling*. Proceedings of the Eurographics 2001 Conference.
- [Cavazza et al. 2002] Cavazza, M.; Charles, F.; Mead, S. *Under the Influence: using Natural Language in Interactive Storytelling*. International Workshop on Entertainment Computing. Makuhari, Japan, 2002.
- [Chittaro and Ranon, 2000] Chittaro L., Ranon R., *Adding Adaptive Features to Virtual Reality Interfaces for E-Commerce*, Proceedings of the International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, Lecture Notes in Computer Science 1892, Springer-Verlag, Berlin, August, 2000.
- [Chittaro and Ranon, 2000a] Chittaro, L. and Ranon, R. *Virtual Reality stores for 1-to-1 e-commerce*. Proceedings of the Workshop on Designing Interactive Systems for 1-to-1 E-Commerce, The Hague, The Netherlands, 2000.
- [Chittaro and Ranon, 2002] Chittaro, L. and Ranon, R. *New Directions for the Design of Virtual Reality Interfaces to E-Commerce Sites*. Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Visual Interfaces, ACM Press, New York, May, 2002.
- [Chittaro and Ranon, 2002a] Chittaro, L. and Ranon, R. *Dynamic Generation of Personalized VRML Content: a General Approach and its Application to 3D E-Commerce*. Proceedings of the 7th International Conference on 3D Web Technology, ACM Press, New York, February, 2002.
- [Chittaro et al, 2003] Chittaro, R.; Ranon, R.; Ieronutti, L. *Guiding Visitors of Web3D Worlds through Automatically Generated Tours*. Proceedings of the 8th International Conference on 3D Web Technology, ACM Press, New York, March 2003.
- [Clay and Wilhelms, 1996] Clay, S. and Wilhelms, J. *Put: Language-Based interactive Manipulation of Objects*. IEEE Computers Graphics and Applications, v. 6, n. 2, p. 31-39, 1996.
- [Correa, 1994] Correa, Filho. *A arquitetura de diálogos entre agente cognitivos distribuídos*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1994 (Tese de doutorado).
- [Demazeau, 1995] Demazeau, Y. *From Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems*. Proceedings of the 1st. European Conference on Cognitive Science, Saint-Malo, France, 1995.
- [Donikian 2004] Donikian, S. *The Virtual Museum*. Disponível em http://www.irisa.fr/prive/donikian/virtual_museum.html. (Janeiro 2004).
- [Doyle and Hayes-Roth, 1997] Doyle, P. and Hayes-Roth, B. *Agents in Annotated Worlds*. Report No. KSL 97-09, December, 1997.
- [Evers, 2003] Evers, T. *Simulação de Multidões de Humanos Virtuais baseada em Memórias Artificiais*. São Leopoldo: UNISINOS: 2003 (Dissertação de Mestrado).
- [Farenc et al. 1999] Farenc, N.; Boulic, R.; Thalmann, D. *An Informed Environment dedicated to the simulation of virtual humans in urban context*. EUROGRAPHICS, v. 18, n. 3, 1999.
- [Ferreira et al. 2002] Ferreira, F; Gelatti, G.; Musse, S. *Intelligent Virtual Environment and Camera Control in Behavioural Simulation*. SIBGRAPI 2002, p. 365-372, Fortaleza, Brazil, October, 2002.
- [Franklin and Graesser, 1996] Franklin, S. and Graesser, A. *Is it an agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agents*. Proceedings of the 3rd International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [Frozza, 1997] Frozza, R. *Simula – Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes Reativos*. Porto Alegre: UFRGS, 1997 (Dissertação de mestrado).
- [Garcia and Sichman, 2003] Garcia, A. and Sichman, J. *Agentes e sistemas multiagentes*. In: Rezende, S. *Sistemas Inteligentes*:

- fundamentos e aplicações. Barueri, SP: Manole. cap. 11, p. 269-306, 2003.
- [Giarrato and Riley, 1998] Giarrato, J. and Riley, G. *Expert Systems – Principles and Programming*. 3 ed., PWS, Boston, 1998.
- [Goodwin, 1994] Goodwin, R. *Formalizing Properties of Agents*. Technical Report, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburg, PA, September, 1994.
- [Giraffa, 1997] Giraffa, L. *Seleção e Adoção de Estratégias de Ensino em Sistemas Tutores Inteligentes*. Porto Alegre: UFRGS, 1997 (Proposta de tese de doutorado).
- [Grand and Cliff, 1998] Grand, S. and Cliff, D. *Creatures: Entertainment software agents with artificial life*. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, v. 1, n. 1, p. 39-57, 1998.
- [Gratch et al. 2002] Gratch, J.; Rickel, J.; Andre, E.; Badler, N.; Cassell, J.; Petajan, E. *Creating Interactive Virtual Humans: Some Assembly Required*. *IEEE Intelligent Systems*, v. 17, n. 4 (Special issue on AI in Interactive Entertainment), 2002.
- [Grzeszczuk et al. 1998] Grzeszczuk, R.; Terzopoulos, D.; Hinton, G. *NeuroAnimator: Fast neural network emulation and control of physics-based models*. *Proceedings of the SIGGRAP'98 Conference*, July, 1998.
- [Hayes-Roth, 1995] Hayes-Roth, B. *An architecture for adaptive intelligent systems*. *Artificial Intelligence (Special Issue on Agents and Interactivity)*, v. 72, pp. 329-365, 1995.
- [Haykin, 2001] Haykin, S. *Redes Neurais: Princípios e Prática*. 2 ed. Bookman, 2001.
- [Heinen, 2000] Heinen, F. *Robótica Autônoma: Integração entre Planificação e Comportamento Reativo*. Editora Unisinos, 2000. Disponível em <http://ncg.unisinos.br/robotica/livro.htm>.
- [Heinen and Osório, 2002] Heinen, F and Osório, F. *Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos*. Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial, Porto de Galinhas, PE, 2002.
- [Heinen, 2002a] Heinen, F. *Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos*. São Leopoldo: UNISINOS: 2002 (Dissertação de Mestrado).
- [Helbing, 2000] Helbing, D.; Farkas, I.; Vicsek, T. *Simulating Dynamical Features of Escape Panic*. *Nature*, v. 407, pp. 487-490, 2000.
- [Jennings and Wooldridge, 1996] Jennings, N. and Wooldridge, M. *Software Agents*. *IEE Review*, January, 1996.
- [Latombe, 1991] Latombe, J. *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publisher, Boston, MA.
- [Kallman and Thalmann 1998] Kallmann, M. and Thalmann, D. *Modeling Objects for Interaction Tasks*. *Proceedings of the Eurographics Workshop on Animation and Simulation*, 1998.
- [Kallman and Thalmann, 1999] Kallmann M. and Thalmann, D. *A Behavior Interface to Simulate Agent-Object Interactions in Real-Time*. *Proceeding of Computer Animation*, IEEE Computer Society Press, p. 138-146, 1999.
- [Kallmann et al. 2000] Kallmann, M.; Monzani, J.; Caicedo, A.; Thalmann, D. *ACE: A Platform for the Real Time Simulation of Virtual Human Agents*. *Proceedings of the EGCAS '2000*, p. 73-84, 2000.
- [Kuffner, 1998] Kuffner, J. *Goal-Directed Navigation for Animated Characters Using Real-Time Path Planning and Control*. *Workshop on Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments*, *Lecture Notes in Artificial Intelligence 1537*, Springer-Verlag, Berlin, p. 171-187, 1998.
- [Maes, 1994] Maes, P. *Modeling Adaptive Autonomous Agents*. *Artificial Life Journal*, 1994.
- [Mead et al. 2003] Mead, S. Cavazza, M.; Charles, F. *Influential Words: Natural Language in Interactive Storytelling*. 10th International Conference on Human-Computer Interaction, Crete, Greece, 2003.
- [Milde, 2000] Milde, J. *The instructable Agent Lokutor*. Working Notes – Autonomous Agents 2000, Workshop on Communicative Agents in Intelligent Virtual Environments, Barcelona, Spain, 2000.
- [Musse, 2000] Musse, S. *Human Crowd Modelling with Various Levels of Behaviour Control*. Lausanne: EPFL, 2000. (Tese de doutorado).
- [Nilsson, 1980] Nilsson N. *Principles of Artificial Intelligence*. Tioga Publishing Company. 1980.
- [Nijholt and Hulstijn, 2000] Nijholt, A. and Hulstijn, J. *Multimodal Interactions with Agents in Virtual Worlds*. In: Kasabov, N. (ed.): *Future Directions for Intelligent Information Systems and Information Science*, Physica-Verlag: Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2000.
- [Nikolopoulos, 1997] Nikolopoulos, C. *Expert Systems – Introduction to First and Second Generation and Hybrid Knowledge Based Systems*. Eds.: Marcel Dekker, New York, 1997.
- [Nwana, 1996] Nwana, H. *Software Agents: An Overview*. In: *Knowledge Engineering Review*, v. 11, n. 3, p. 205-144, 1996.
- [Parent, 2002] Parent, R. *Computer Animation: Algorithms and Techniques*. Morgan Kaufmann. San Francisco. 527p. 2002.
- [Perlin and Goldberg, 1996] Perlin, K. and Goldberg, A. *Improv: A system for scripting interactive actors in virtual worlds*. *ACM Computer Graphics Annual Conference*, p. 205-216, 1996.
- [Quinlan, 1993] Quinlan, R. *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann, Sao Mateo, California, 1993.
- [Rao and Georgeff, 1995] Rao, A. and Georgeff, M. *BDI Agents: From Theory to Practice*. *Proceedings of the 1st International*

- Conference on Multi-Agents Systems, San Francisco, CA, June, 1995.
- [Reynolds, 1987] Reynolds, C. *Flocks Herds and Schools: A Distributed behavioural model*. Proceedings of the SIGGRAPH 87, Computer Graphics, v. 21, n. 4, p. 25-34, 1987.
- [Reilly and Bates, 1992] Reilly, S. and Bates, J. *Building Emocional Agents*. Technical Report, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburg, PA, May, 1992.
- [Rickel and Johnson, 1997] Rickel, J. and Johnson, W. *Integrating Pedagogical Capabilities in a Virtual Environment Agent*. Proceedings of the 1st International Conference on Autonomous Agents, February, ACM Press, 1997.
- [Rickel and Johnson, 2000] Rickel, J. and Johnson, W. *Task-Oriented Collaboration with Embodied Agents in Virtual Worlds*. Embodied Conversational Agents, MIT Press, Boston, 2000.
- [Rickel et al, 2002] Rickel, J.; Marsella, S.; Gratch, J.; Hill, R.; Traum, D.; Swartout W. *Toward a New Generation of Virtual Humans for Interactive Experiences*. IEEE Intelligent Systems, v. 17, n. 4 (Special issue on AI in Interactive Entertainment), 2002.
- [Russell and Norvig, 1995] Russell, S. and Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, New Jersey, 1995.
- [Santos and Osório 2003] Santos, C. and Osório, F. *Concepção de Um Agente Inteligente para um Ambiente Virtual Adaptativo*. IV Encontro Nacional de Inteligência Artificial, Campinas, SP, 2003.
- [Santos and Osório, 2003a] Santos, C. and Osório, F. *Um Ambiente Virtual Adaptativo para a Educação a Distância*. XIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- [Santos and Osório, 2004] Santos, C. and Osório, F. *An Intelligent and Adaptive Virtual Environment and its Application in Distance Learning*. Advanced Visual Interfaces, Gallipoli, Italy, May, ACM Press, 2004.
- [Santos, 2004] Santos, C. *Um Ambiente Virtual Inteligente e Adaptativo baseado em Modelos de Usuário e Conteúdo*. São Leopoldo: UNISINOS: 2004 (Dissertação de Mestrado). Disponível em : <http://www.inf.unisinos.br/~cassiats/dissertacao.htm>
- [Schweiss et al. 1999] Schweiss, E.; Musse, S.; Garat, F.; Thalmann, D. *An architecture to guide crowds based on rule-based systems*. Proceedings of the 1st International Conference Autonomous Agents, ACM Press, 1999.
- [Sebastiani, 2002] Sebastiani, F. *Machine learning in automated text categorization*. ACM Computing Surveys, v. 34, n. 1, p.1-47, 2002.
- [Simon, 2004] Simon, D. *Extração de Conhecimento a partir de Redes Neurais Recorrentes*. São Leopoldo: UNISINOS: 2004 (Dissertação de Mestrado).
- [Sycara et al. 1996] Sycara, K.; Decker, K.; Pannu, A.; Williamson, M.; Zeng, D. *Distributed Intelligent Agents*. IEEE Expert, 1996.
- [Thalmann and Thalmann, 1994] Thalmann N. and Thalmann D. *Creating Artificial Life in Virtual Reality*. Artificial Life and Virtual Reality, John Wiley, Chichester, pp.1-10, 1994.
- [Thalmann and Thalmann, 1995] Thalmann, N. and Thalmann, D. *Actors for Interactive Television*. IEEE Special Issue on Digital Television, 1995.
- [Thalmmann 1996] Thalmmann, D. *A New Generation of Syntetic Actors: The Interactive Perceptive Actors*. Pacific Graphics'96, p.200-219, 1996.
- [Thalmmann 1999] Thalmmann, D.; Musse, S.; Kallmann, M. *Virtual Humans' Behaviour: Individual, Groups, and Crowds*. Digital Media Features. 1999.
- [Tecuci 1998] Tecuci, G. *Building Intelligent Agents: An Multistrategy Learning Theory, Methodology, Tools and Case Studies*. Academic Press, 320 p., 1998.
- [Terzopoulos et al. 1994] Terzopoulos, D; Tu, X.; Grzeszczuk, R. *Artificial fishes with autonomous locomotion, perception, behavior and learning, in a physical world*. In Maes, P. and Brooks, R., editors, Proceedings of the Artificial Life IV Workshop, MIT Press, p. 17-27, 1994.
- [Terzopoulos, 1999] Terzopoulos, D. *Artificial Life for Computer Graphics*. Communications of the ACM, v.42, n. 8, p.33-42, 1999.
- [Tomaz and Donikian, 2000] Tomaz, G. and Donikian, S. *Modelling virtual cities dedicated to behavioural animation*. The International Journal of The Eurographics Association (Computer Graphics Forum), v.19, n.3, p.71-80, 2000.
- [Torres et al. 2003] Torres, J.; Nedel, L.; Bordini, R. *Using the BDI Architecture to Produce Autonomous Characters in Virtual Worlds*. Proceedings of the Interactive Virtual Agents, Irsee, Germany, p. 197-201, 2003.
- [Viccari and Giraffa, 1996] Viccari, R.; Giraffa, L. *Sistemas Tutores Inteligentes: abordagem tradicional x abordagem de agentes*. Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence, Curitiba, PR, Brazil, Springer Verlag, 1996.
- [Villamil, 2003] Villamil, M. *Simulação de Grupos de Humanos Virtuais utilizando Abordagens Micro e Macroscópicas*. São Leopoldo: UNISINOS: 2003 (Dissertação de Mestrado).
- [Webber et al. 1995] Webber, B.; Badler, N.; Di Eugenio, B.; Geib, C.; Levison, L.; Moore, M. *Instructions, Intentions and Expectations*. Artificial Intelligence Journal, Special Issue on Computational Theories of Interaction and Agency, v. 73, p. 253-269, 1995.
- [Wooldridge and Jennings, 1995] Wooldridge, M. and Jennings, N. *Intelligent Agents: Theory and Practice*. In: Knowledge Engineering Review, v. 10, n. 2, 1995.