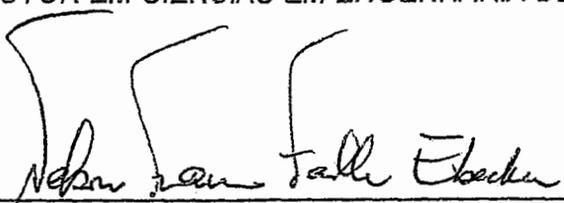


UMA ARQUITETURA MULTIAGENTE DO COMPORTAMENTO DE PERSONAGENS
VIRTUAIS

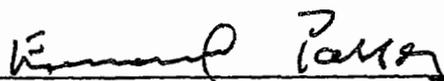
Iara Moema Oberg Vilela

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

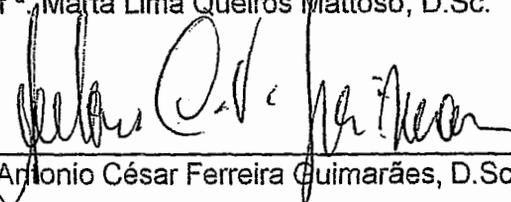

Prof. Nelson Francisco Favilla Ebecken, D.Sc


Prof. Nelson Maculan Filho, D.Habil..


Prof. Emmanuel Piseces Lopes Passos, D.Sc.


Prof. Gerson Gomes Cunha, D.Sc.


Prof.^a Marta Lima Queirós Mattoso, D.Sc.


Prof. Antonio César Ferreira Guimarães, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO 2006

VILELA, IARA MOEMA OBERG

Uma Arquitetura Multiagente do
Comportamento de Personagens Virtuais
[Rio de Janeiro] 2006

VIII, 106 p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Engenharia de Sistemas e Computação, 2006)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Personagens Virtuais
2. Inteligência Artificial
3. Realidade Virtual
4. Multiagentes

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A Carlos e Marina

AGRADECIMENTOS

Aos **Prof. Nelson Maculan** e **Prof. Nelson Ebecken**, por terem aceito, com tanta boa vontade, a orientação deste trabalho.

Ao **Prof. Gerson Gomes Cunha**, pela inacreditável disposição com que sempre ensinou, ajudou, animou, contribuiu, orientou, não apenas este meu trabalho, mas o de todos do GRVa.

Ao **Prof. Luiz Landau**, pela solidariedade com que permitiu que eu participasse das atividades do LAMCE, contribuindo para meu crescimento individual e profissional.

Aos **Amigos do GRVa**, pelo clima amigável e agradável, sempre de ajuda mútua e de colaboração, que sem dúvida é uma das bases da grande produtividade e criatividade deste grupo de pesquisa.

A **Carlos Vilela Porto Silva**, pela paciência com que se dispôs a me ouvir e a contribuir para enriquecer este trabalho.

A **Marina** e **Carlos**, meus filhos, pela compreensão com minhas ausências.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

UMA ARQUITETURA MULTIAGENTE DO COMPORTAMENTO DE PERSONAGENS
VIRTUAIS

Iara Moema Oberg Vilela

Março / 2006

Orientadores: Nelson Francisco Favilla Ebecken

Nelson Maculan Filho

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Com o aumento da complexidade e das possibilidades de aplicação das simulações em ambientes de Realidade Virtual, passa a ser cada vez mais ampla a utilização de personagens virtuais com comportamentos humanóides. A arquitetura de comportamento de personagens proposta no presente trabalho trata cada personagem como um *agente composto* por subagentes, classificados segundo sua função em: motivacionais, cognitivos e executivos. As motivações internas do personagem competem entre si, e aquelas que são prioritárias impulsionam os subagentes responsáveis por certas tomadas de decisão e percepções seletivas relativas àquelas motivações. Esta estrutura tem por finalidade permitir um comportamento emergente, flexível e verossímil, mas com a seleção da utilização do conhecimento através do critério da motivação como forma de diminuir o processamento e de dar maior credibilidade ao comportamento humanóide. Buscou-se também a padronização de alguns elementos, a fim de facilitar o desenvolvimento, as alterações, e a reutilização dos personagens. Pretende-se que a arquitetura permita uma utilização de uso geral.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

A MULTIAGENT ARCHITECTURE FOR VIRTUAL CHARACTER BEHAVIOUR

Iara Moema Oberg Vilela

March / 2006

Advisors: Nelson Francisco Favilla Ebecken

Nelson Maculan Filho

Department: Systems and Computation Engineering

Virtual Reality environments are showing increasing simulations complexity and application possibilities. In this scenario, so are virtual characters, now demanding more and more humanlike behaviors. This work presents a virtual character behavior architecture where a character is considered as a composite agent composed by subagents: motivational agents, cognitive agents and executive agents. At each moment, the internal character's motivations compete with each other and the winners are considered priorities. They trigger those cognitive subagents that can process the selective perception and the action selection capable of reach their intention. The purpose of such a motivation-driven structure is to allow an emergent and flexible behavior, using the knowledge selection through motivation as a way of decreasing computational processing and of achieving a more humanlike character behavior. The structure is also meant to make it easier to develop, to change, and to reuse characters. This architecture is intended to be of general purpose.

I	INTRODUÇÃO	1
II	REALIDADE VIRTUAL	7
	II.1 IMERSÃO E INTERATIVIDADE	7
	II.2 SIMULAÇÃO	10
	II.3 A QUESTÃO DO MODELO	15
	II.4 A PRESENÇA DO USUÁRIO NOS AMBIENTES VIRTUAIS.....	20
	II.5 DISCUSSÃO	22
III	PANORÂMICA DE APLICAÇÕES DE PERSONAGENS VIRTUAIS	24
	III.1 INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR.....	25
	III.2 MARKETING	26
	III.3 DEMONSTRAÇÃO, EDUCAÇÃO E TREINAMENTO	27
	III.4 ERGONOMIA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	28
	III.5 PESQUISA EM CIÊNCIAS HUMANAS E ARTES.....	29
	III.6 INDÚSTRIA DE ENTRETENIMENTO.....	30
	III.7 ANÁLISE DO TEMA	32
IV	ARQUITETURAS DE COMPORTAMENTO EM INTELIGÊNCIA	
	ARTIFICIAL	35
	IV.1 O MODELO DE SLOMAN, DO COGNITION AND AFFECT GROUP (COGAFF).....	35
	IV.2 A MULTIPLICIDADE DA MENTE.....	39
	IV.3 MODELO DE COMPORTAMENTO DE THALMANN	41
	IV.3.1 <i>Arquitetura Básica</i>	41
	IV.3.2 <i>Modelo Afetivo de Seleção de Ação</i>	44
	IV.4 PERSONAGENS DE JOGOS COMPUTACIONAIS	50
	IV.4.1 <i>Máquina Hierárquica de Estados Finitos</i>	51
	IV.4.2 <i>Grafos Motivacionais</i>	54
	IV.5 ANÁLISE DO TEMA	57
V	SISTEMAS MULTIAGENTES E AMBIENTES VIRTUAIS	
	INTELIGENTES	60
	V.1 AGENTES	60
	V.2 SISTEMAS MULTIAGENTES	62
	V.3 ARQUITETURA DE AGENTES COMPOSTOS	63
	V.4 DISCUSSÃO	67
VI	ARQUITETURA DE COMPORTAMENTO MOTIVADO DE	
	PERSONAGENS VIRTUAIS	69
	VI.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	70
	VI.1.1 <i>Elementos do Comportamento do Personagem Virtual</i>	70
	VI.1.2 <i>Propriedades de um Personagem Computacional</i>	72
	VI.2 PERSONAGEM COMO AGENTE COMPOSTO	75
	VI.2.1 <i>Comportamento Motivado: a intuição</i>	78
	VI.2.2 <i>Agentes Motivacionais</i>	78
	VI.2.3 <i>Ambiente Interno Motivacional</i>	83
	VI.2.4 <i>Agentes Cognitivos</i>	86
	VI.2.5 <i>Agentes Executivos</i>	89
VII	ARQUITETURA DO COMPORTAMENTO MOTIVADO: EXEMPLO	
	DE APLICAÇÃO	90

VII.1 DIFICULDADES DE VALIDAÇÃO	90
VII.2 O MEDO E SITUAÇÃO AMEAÇADORA.....	91
<i>VII.2.1 O Agente Cognitivo Proteção e sua Hierarquia</i>	93
<i>VII.2.2 Situação de Conflito: a solidariedade</i>	95
VII.3 MOTIVAÇÕES DE ORIGEM INTERNA	97
VII.4 UMA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO: ARÉVI.....	98
VIII CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	100
IX REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

I Introdução

A simulação computacional se tornou uma ferramenta extremamente útil para o desenvolvimento de trabalhos em Engenharia, e em muitas outras disciplinas. No caso de projetos, por exemplo, é grande a contribuição das simulações na redução dos custos, visto que permitem avaliar alternativas de projeto, previsão de situações de risco ou de inadequações futuras, ajustes e conjecturas sobre novas formulações. Em casos de avaliações de situações passadas, como acidentes ou ataques, as simulações são reconstruções que possibilitam o exame de detalhes de outra forma inacessíveis, e de eliminações de hipóteses através de sua execução “in virtuo” no ambiente devidamente representado. Quanto a situações atuais, nas quais os ambientes ou equipamentos já existem, mas são caros, frágeis e/ou perigosos, o treinamento de sua utilização é mais convenientemente feito em uma réplica segura, simulada, do que nele próprio, evitando assim qualquer risco.

Assim, especialmente quando se trata de grandes empreendimentos – como os ligados a projetos energéticos, siderúrgicos, aeronáuticos, navais, de forças armadas, etc. – as simulações tem sido amplamente utilizadas. A complexidade das simulações, graças ao espetacular desenvolvimento dos recursos computacionais que assistimos nas duas últimas décadas, permitiu visualizações cada vez mais sofisticadas. A Realidade Virtual passou a permitir uma imersão cada vez maior nessas simulações, e, portanto, simulações com maior riqueza.

Este enriquecimento chega então ao ponto em que o ser humano, propriamente, também pode ser simulado dentro destes ambientes. Isto significa que, além de avaliar estes ambientes virtuais com respeito às suas propriedades funcionais em si, pode-se testá-lo enquanto ambiente povoado. Não apenas a circulação de pessoas, mas seu comportamento e sua ação no ambiente pode modificá-lo de maneira dinâmica e inesperada, gerando um comportamento emergente que pode ser por vezes impossível de ser previsto de outra maneira que não a simulação. A própria interação entre as pessoas é significativa, e afeta o andamento dos processos.

Mas não é necessário que haja muitas pessoas para que a presença do personagem virtual seja significativa. Uma pessoa, por ter um comportamento normalmente imprevisível, flexível, errático, pode mostrar, com a repetição de uma mesma simulação, muitas possibilidades de ocorrências e encaminhamentos de uma mesma situação básica. E, afinal, o ser humano é o elemento fundamental de todos os empreendimentos. É para que ele que eles existem.

Mas para que uma simulação com uma ou mais personagens seja eficaz, muitos desafios devem ser vencidos. Estes personagens que circulam em uma simulação não podem ser pensados como réplicas de seres humanos. Além de ser uma tarefa por demais ambiciosa (não cabe aqui discutir os aspectos filosóficos de tal pretensão...), se fosse possível, certamente seria absurdamente consumidora de recursos computacionais. Recursos esses que, além de tudo, seriam gastos com elementos totalmente irrelevantes para a aplicação. Por exemplo, imagine-se que se está simulando um incêndio em uma planta de fábrica para testar as saídas previstas. Por que implementar, em cada um dos funcionários, seus respectivos planos para o final de semana seguinte? E, no entanto, funcionários reais, quando acontece um sinistro, têm efetivamente planos para o final de semana, embora dificilmente pensem nele neste momento.

Mas, sem dúvida, esses funcionários estão movidos por *motivações*. Não o final de semana, não a vontade de comer chocolate, ou muitas outras motivações que pessoas tem em outros momentos, mas a *sua própria segurança*. Além disso, outras motivações podem movê-los, como ajudar amigos, salvar algum objeto de valor, tentar apagar o fogo, ou chamar ajuda, etc.

Um personagem de uma simulação deve apresentar verossimilhança, e coerência com a situação simulada. A verossimilhança exige que o comportamento seja autogerado, tenha autonomia. Um personagem não pode se parecer com uma máquina, mas com um ser humano com vontade, ou seja, *motivado*. Mas motivado de forma coerente, adequada, ou, se for o caso (como pode acontecer em surtos psicóticos, por exemplo), “coerentemente inadequada”.

Simulações tão complexas exigem a participação de equipes com muitos profissionais de formações bastante diferentes. Assim, existe a simulação do ambiente físico em si, dos equipamentos, objetos, etc. Há um tipo de especialista que sabe sobre isto. Existe a simulação dos personagens, de seu comportamento, com a definição de seus elementos e de suas propriedades relevantes. Outros tratarão disto. Há ainda a interação destes componentes todos. Mais profissionais envolvidos. E tudo isto deve ser modelado, especificado, implementado, de forma a que a simulação seja efetiva, e realmente possa refletir o comportamento do ambiente alvo a ser avaliado através dela. Uma grande equipe, realmente! Como lidar com a informação passando entre essas pessoas? E aqui, neste trabalho, a preocupação está, evidentemente, voltada ao que diz respeito ao personagem, suas propriedades, suas comunicações e interações com todos os outros elementos do ambiente. Desta forma, de alguma maneira, a discussão de sua construção passa por toda a equipe. Algum tipo de

comunicação comum deve permitir que não haja perdas por incompreensões ou erros neste processo.

Além disso, com tamanha complexidade, é preciso que seja levada em consideração a economia dos recursos computacionais, sem perda de fidelidade aos objetivos da simulação. Como modelar, especificar, implementar, um comportamento complexo, dinâmico, flexível, emergente, e ainda assim, simplificado, sem esgotar memória e processamento? Designers, artistas gráficos, e outros profissionais envolvidos na construção do personagem (especialmente se falamos de comportamento), não costumam ter muita experiência ou preocupação com estas restrições, e podem se transformar em opositores dos implementadores.

Seria interessante ter uma ferramenta que já previsse o problema da redução da complexidade computacional, e que, ao mesmo tempo, servisse de condutora para a especificação da estrutura do comportamento motivado do personagem. Além de diminuir o atrito entre os profissionais, esta estrutura facilitaria o trabalho dos artistas, dando-lhes uma arquitetura básica com que trabalhar com ferramenta.

Porém, ao buscarmos na literatura, o que encontramos em termos de trabalho neste sentido se encontra em dois extremos. Apesar de estarmos falando de personagens *virtuais*, o campo de maior desenvolvimento de personagens não tem sido o de Realidade Virtual. Duas diferentes áreas têm se envolvido com o desenvolvimento de arquiteturas para Mentes Artificiais: as *Ciências Cognitivas* e os *Jogos Computacionais*. Em comum, naturalmente, a base em Inteligência Artificial. Porém, com enfoques bastante diferentes.

As Ciências Cognitivas buscam respostas acerca do Mente, e reúnem conhecimentos como Neurobiologia, Psicologia Cognitiva, Filosofia da Mente, enfim, várias disciplinas voltadas para a questão do estudo da Cognição Humana. A Inteligência Artificial se inclui aí como uma forma de simular modelos de mentes artificiais, dentro deste contexto teórico. Não se trata de criar personagens. Trata-se de modelar arquiteturas abstratas de cunho geral, organizações abrangentes, que tratam de categorias tão amplas como Percepção, Ação, Emoção, etc. E aqui não se trata de falar de percepção de uma caneta, por exemplo, mas Percepção, o processo, como um todo, e como ele se relaciona com as demais funcionalidades da cognição. Discute-se o papel da Emoção na Inteligência, por exemplo.

Estes trabalhos podem ser úteis para desenvolver a arquitetura de personagens virtuais, mas são muito amplos e abstratos para os propósitos de simulações aplicadas. Como discutimos acima, uma simulação não se interessa em

recriar uma réplica do ser humano, mas um ser humano voltado para uma aplicação específica, em que os elementos motivadores e as intenções estejam claros e possam ser discutidos e avaliados. Não devemos esquecer que esta avaliação da descrição do personagem deve estar acessível não somente aos membros da equipe de desenvolvimento, mas também à comunidade que recebe este trabalho, e que deve poder ter clareza de suas bases de simulação. Mas não se trata aqui de escrever uma fundamentação psicológica para isso, mas apenas explicitar os elementos que foram considerados.

A outra linha de desenvolvimento de personagem foi a dos jogos computacionais (popularmente conhecidos simplesmente como *games*). Aqui, inversamente, se trata, sim, de criar personagens, e o quanto mais simples, melhor. Ao menos até recentemente. O enfoque maior que conduziu o desenvolvimento de games nas últimas décadas foi o aspecto gráfico. A indústria de games cresceu muito, e impulsionou a de hardware gráfico de forma muito importante, com o desenvolvimento de placas gráficas de alta potência que podem ser encontradas já em PCs domésticos. Como consequência, outros processamentos que não os gráficos começaram a poder ser realizados com mais alto nível de complexidade, o que, há relativamente pouco tempo, começa a permitir que os desenvolvedores de games se voltem para a área de Inteligência Artificial.

Mas esta história deixou marcas importantes. Em primeiro lugar, a tradição de simplicidade marcou uma tradição de construção, no meio de games, de construção de comportamento de personagem baseada em máquinas de estados finitos. É compreensível, por que de fato é extremamente conveniente e simples, de fácil implementação. Dada a pouca variedade que se pretendia, até pouco tempo, em termos de estados e transições, a questão da explosão combinatória não chegava a perturbar. Mas com as possibilidades aumentando, e com ambiente de jogo mais complexos e dinâmicos, isto se tornou um problema a ser resolvido. Mas poucas são as soluções de cunho geral. Normalmente, se resolve o problema local que se apresenta.

Alguns núcleos de pesquisa em “Humanos Virtuais” se desenvolveram espalhados no mundo, mas impulsionados principalmente , ao menos em princípio, pela preocupação com os aspectos gráficos, influenciados pelas necessidades dos jogos e do cinema. A preocupação central era com os movimentos corporais, com as expressões faciais, e como elas podiam ser variadas graficamente. Cabelos, vestidos, andares, danças, risos, todas as expressões foram focos de muitos estudos, especialmente a partir da captura de movimentos de atores. Mas nada disso é

comportamento, no sentido que é dado aqui neste trabalho. Trata-se apenas de *execução* do comportamento.

Veremos mais adiante que outros grupos também utilizavam personagens para outros fins, como apresentadores, instrutores, etc. e que apresentavam algum comportamento. Em geral, nos casos citados, a determinação do comportamento era muito restrita à aplicação em questão, o que não permitia extrair uma arquitetura generalizante, aplicável a outras situações.

A questão, bastante recente, então é saber como implementar o *comportamento* que leva a esta execução. Há várias dificuldades de situar este trabalho no conjunto dos trabalhos relacionados ao mesmo tema atualmente. Uma é a falta de uniformidade das definições. Outra é a falta de uniformidade dos objetivos. Porque os comportamentos a modelar e implementar são sempre dependentes das contingências da simulação.

Há ainda uma área de Inteligência Artificial que merece menção, embora os trabalhos relacionados a ela não tenham, via de regra, nenhuma preocupação de gerar comportamentos humanóides, muito menos naquilo que tem de errático, imprevisível ou, vez por outra, irracional: a área de agentes e de sistema multiagentes. Apesar disso, esta área se marca por noções importantes para a construção de personagens. Gostaríamos de enfatizar especialmente as de autonomia, reatividade e proatividade. Além disso, sistemas multiagentes são especialmente apropriados para modelar comportamentos emergentes, o que é típico do comportamento humano, como discutiremos ao longo do trabalho. A área que se desenvolve em torno dos conceitos de agentes e multiagentes freqüentemente utiliza analogias com sistemas cognitivos, o que facilita sua utilização para os propósitos que se pretende atingir.

Assim, o presente trabalho pretende se situar entre os dois extremos da abstração generalizante das Ciências Cognitivas e das especificidades das aplicações que têm sido desenvolvidas para personagens virtuais, buscando uma *arquitetura de uso geral* que incorpore as contribuições dos modelos mais representativos das tendências que representaram linhas históricas condutoras da construção de comportamento personagem virtuais até aqui. A arquitetura aqui proposta traz das Ciências Cognitivas as relações entre Percepção, Ação e Motivação, mas rediscutida dentro do quadro da Inteligência Artificial. A motivação é então considerada como motor do comportamento, e ativa de forma seletiva os processos perceptivos e decisórios que definem a ação a ser executada. As técnicas de jogos computacionais contribuem com heurísticas de processamento e de inclusão da motivação. Enfim, a

estrutura de sistemas multiagentes permite incorporar comportamentos emergentes e dinâmicos, com riqueza e flexibilidade.

Esta arquitetura pretende atender as necessidades de múltiplas aplicações, e também ser de fácil compreensão para múltiplos profissionais. Além disso, ao incorporar técnicas de modelagem e implementação já em uso, tanto em laboratórios quanto mesmo no mercado, nos preocuparemos em diminuir a sua utilização de recursos computacionais, e em tornar sua utilização mais intuitiva. Pretende-se que esta arquitetura sirva de base para o desenvolvimento, a documentação, a modelagem e a especificação de múltiplos comportamentos motivados de personagens virtuais. A arquitetura tem como princípio, não apenas facilitar o ciclo de construção de personagens, como a possibilidade de facilitar as variações entre eles, através de um gasto relativamente pequeno de recursos computacionais. Na medida em que a arquitetura proposta implica numa quase padronização dos procedimentos, espera-se que facilite também a comunicação entre os diferentes profissionais envolvidos no desenvolvimento da simulação. Pretende-se também que a reutilização de material já desenvolvido cresça com sua utilização, aumentando conseqüentemente a produtividade.

A estrutura do trabalho se constitui como se segue:

No **Capítulo I**, situamos o problema, o estado da arte e os objetivos.

No **Capítulo II**, falaremos da evolução da Realidade Virtual e da importância que a Simulação assume neste caminho.

No **Capítulo III**, mostramos uma visão geral das múltiplas possibilidades de aplicação de personagens virtuais.

No **Capítulo IV**, apresentamos os modelos de várias áreas de Inteligência Artificial que serão discutidas e servirão de base para o modelo proposto.

No **Capítulo V**, discutiremos os conceitos de agente, multiagente, e, principalmente, de agente composto, fundamental para a arquitetura de comportamento motivado.

No **Capítulo VI**, é apresentada a Arquitetura de Comportamento Motivado de Personagens Virtuais, proposta central deste trabalho.

No **Capítulo VII**, apresenta-se uma aplicação em modelagem de Medo e Motivação voltada para Segurança.

No **Capítulo VIII**, concluímos o trabalho, apresentamos um balanço final e perspectivas de trabalhos futuros.

II Realidade Virtual

Sempre foi uma característica humana a de representar o mundo para, entre outras coisas, poder melhor apreendê-lo, lidar com ele, entender seus processos, controlá-lo e manipulá-lo. Entretanto, nunca na história foi possível uma riqueza de representação tal como a alcançada a partir do século XX. Por um lado, houve o grande desenvolvimento da fotografia, do cinema, da microscopia, da radiografia, enfim, de muitas formas de registrar o real, além das já antigas formas mais subjetivas e tecnicamente mais simples de representá-lo, como pintura e desenho, por exemplo. Por outro lado, houve o advento da computação, que contribuiu não apenas para uma maior elaboração dos aspectos gráficos, pictóricos, mas também de todas as formas simbólicas em geral (escrita, matemática e lógica, por exemplo) já desenvolvidas. Naturalmente, a convergência e combinação de todas essas técnicas geram uma explosão de possibilidades, com aplicações potencialmente infinitas, tanto nas ciências quanto nas artes (aí também incluídas as diversas formas de entretenimento), além, naturalmente, do treinamento, do ensino e da divulgação das mesmas. Ou seja, há uma grande variedade de possíveis formas de ampla comunicação de idéias.

A convergência de técnicas não acontece de uma vez por todas, evidentemente. Tipicamente, cada técnica de representação se desenvolve a partir de algumas aplicações, refinando e testando algumas possibilidades, e ainda abrindo oportunidade para outras utilizações mais novas. À medida que se desdobra, uma técnica se aproxima de outras utilizadas em outras áreas, criando interfaces, sobreposições e interações. Nestas áreas, pode então emergir uma fusão de técnicas, gerando um novo espaço de teorização e prática.

A seguir, visualizaremos um panorama conciso de como o próprio conceito de Realidade Virtual foi afetado em seu processo evolutivo, através das diferentes inovações em seu domínio, desde que se estabeleceu como disciplina científica e tecnológica. Já no momento da consagração da expressão “Realidade Virtual”, se tratava de uma convergência de técnicas. Partiremos então deste momento em diante, buscando avaliar o quanto, e em relação a que aspectos, a disciplina foi sendo alterada ao longo de sua evolução.

II.1 Imersão e Interatividade

Quando, na década de 80, o Jaron Lanier cunhou a expressão “Realidade Virtual”, já havia algum tempo que diferentes pesquisadores, em diferentes instituições, trabalhavam com a idéia de criar tecnologias de interface entre homem e

máquina que proporcionassem ao usuário o máximo possível de imersão no ambiente artificial gerado pela máquina. A expressão se consagrou e passou a incluir, de maneira geral, as tecnologias de interface cuja proposta fosse a de ser o mais possivelmente imersivas, tanto no que diz respeito ao sensorial, quanto ao motor. Os criadores destas tecnologias, além de buscar capturar ao máximo os sentidos do ser humano em interação com a máquina, se preocupavam também em possibilitar a intervenção deste usuário no ambiente em que se encontrava imerso. O próprio Lanier, por exemplo, se dedicou a desenvolver luvas que permitissem esse tipo de manipulação. Em suma, podemos dizer que o domínio da Realidade Virtual (daqui a diante designada pela sigla RV) nasce como a convergência das *tecnologias de interface* voltadas para o aprofundamento da *imersão* e da *interatividade* na relação entre homem e máquina.

Estes dispositivos que inicialmente deram origem a RV, e que ainda continuam evoluindo, têm como objetivo a sensação de total *imersão física* por parte do usuário, com possibilidade de interação direta entre o seu corpo e os ambientes artificiais. Ou seja, a imersão é proporcionada pelos aparatos técnicos porque as imagens do mundo virtual são apresentadas aos órgãos sensoriais e motores de forma *exclusiva*, isto é, com a intenção de eliminar qualquer entrada importante vinda de outra fonte que não o próprio dispositivo de apresentação. Assim, por exemplo, um capacete de RV (conhecido como head-mounted display, ou HMD) não pretende apenas mostrar as imagens artificiais, mas também impedir a visão do mundo exterior real. Da mesma forma, as luvas não apenas pretendem permitir que o usuário possa interagir com os objetos virtuais, mas também impedi-lo de tomar contato com outros objetos externos. Isto é o que se pode chamar de conceitos *estritos* de imersão e interação. A imersão neste caso é dada por uma interface de navegação referenciada na posição da cabeça (capacete – HMD, ou dispositivo BOOM – de “Binocular Omni-Orientation Monitor”, em inglês), de preferência com cada olho recebendo um ponto de vista ligeiramente diferente, de forma estereoscópica. Além disso, pode estar incluída uma interface de produção de som, a ser emitido próximo aos ouvidos. O uso de luvas especiais e equipamentos semelhantes pode ser utilizado, visando permitir uma manipulação o mais realista possível dos objetos do mundo. Podem também ser incluídos estímulos de tato e pressão. Os equipamentos continuam a evoluir, no sentido de diminuir a sensação de sua própria presença (tamanho, peso), e também no sentido de aumentar sua sensibilidade. Além dos equipamentos, também os *ambientes* em que acontecem a experiência virtual foram evoluindo com a finalidade de aumentar a imersão. Assim, por exemplo, foram criados ambientes com grandes telas, ou

utilizando as próprias paredes como tais, onde são projetados os mundos virtuais (as CAVEs - também conhecidas como cavernas digitais). De forma alguma se pretende aqui esgotar a descrição de todos os caminhos que o desenvolvimento tecnológico das interfaces de imersão para Realidade Virtual, e atualmente para a Realidade Aumentada, foram tomando. O que importa aqui é mostrar que este é um aspecto importante de RV, que continua sendo fundamental, mas que, apesar de ter sido basicamente inaugural, não permaneceu o único critério técnico relevante a ser discutido.

Foi assim que, à medida que novas aplicações e técnicas foram surgindo, os significados originalmente estritos de imersão e interatividade em RV foram gradativamente sendo relaxados. Os ambientes passaram a ser apresentados, em certos casos, numa simples tela de monitor de vídeo, e manipulados através de dispositivos de uso mais geral, como mouse, ou joystick. A imersão passou a ser mais *psicológica* do que *física*. O fundamental a manter seria o “sentimento de presença”. Quanto à interatividade, estaria relacionada a uma *atitude ativa*, de navegação e intervenção no desenrolar dos eventos do mundo virtual. Assim, o usuário se sente fazendo parte do sistema, e não apenas utilizando-o. No conjunto, a resultante é um “envolvimento” global no mundo apresentado. Estranhamente, estas formas menos estritas são normalmente denominadas de Realidade Virtual não-imersiva. Na medida em que as definições iniciais dadas na literatura sempre incluem imersão como parte essencial da RV, parece contraditório estabelecer uma “imersão não-imersiva”. A distinção que fosse talvez mais adequada seria a feita entre técnicas de *imersão física* (que buscam excluir o contato com o mundo exterior real) e de *imersão psicológica*, que trabalham centralmente com a atenção e o envolvimento emocional e cognitivo do usuário.

Apesar disso, esta classificação consagra-se por tradição entre os pesquisadores de RV. Fala-se, então, em “graus de imersão”: ambientes totalmente imersivos (como HMD), semi-imersivos (como em CAVE) e não-imersivos (como monitores de vídeo 2D).

Por exemplo, LEMOINE *et al.* [1], abordando a questão das possibilidades de manipulação de objetos virtuais 3D, discutem como, à classificação dos sistemas de RV baseada no grau de imersão do usuário, se vinculam as possibilidades técnicas de interatividade. Assim, por exemplo, num ambiente semi-imersivo, as fronteiras estabelecidas pelas telas afetam a sensação de realismo da navegação no ambiente e da manipulação dos objetos virtuais. No trabalho citado, são discutidas principalmente as possíveis formas de interação em ambientes totalmente imersivos, em particular no

que diz respeito à seleção de elementos do ambiente que o usuário pretende manipular.

II.2 Simulação

Durante o período inicial de desenvolvimento de RV, como visto acima, predominaram os estudos de RV enquanto *tecnologia de interface* [2]. No que diz respeito aos aspectos sensoriais, houve uma ênfase particular às interfaces visual e auditiva, correspondendo ao concomitante desenvolvimento da programação gráfica 3D, e dos estudos em estereoscopia. Em relação aos aspectos motores, os dispositivos de manipulação de objetos concentraram as atenções. Neste primeiro período, pensar em Realidade Virtual era, essencialmente, pensar em capacetes, luvas, enfim, em dispositivos de navegação e manipulação em ambientes tridimensionais. Ou seja, tratava-se essencialmente de imersão e interatividade.

Mas, para realmente atender às necessidades de imersão e interatividade, é imprescindível que o sistema retorne respostas verossímeis ao usuário cada vez que este age no ambiente (mesmo que a ação seja tão simples quanto uma mera navegação). Ou seja, se há um movimento na direção de um objeto, por exemplo, espera-se uma colisão. Se algum objeto for atirado livremente, espera-se também que, além de cair, sofra algum tipo de efeito por esta queda (que se quebre, salte, espalhe-se, etc., dependendo de suas próprias características). Este elemento do ambiente de RV diz respeito à *simulação*, que deve estar necessariamente incorporada ao sistema. Dela depende a dinamicidade do ambiente, sua verossimilhança, e a possibilidade de alterações neste ambiente nas interações com o usuário (em outras palavras, efetiva interatividade). Mas, nos primeiros ambientes virtuais desenvolvidos, o modelo de simulação permanecia bastante restrito a navegações e algumas manipulações bastante simples de objetos. Não era dada muita mais atenção que isso, possivelmente pela impossibilidade, na época, de implementação, já que os recursos computacionais não permitiam. Falar de desenvolvimento de RV era falar de *tecnologia de interface*, deixando as questões relacionadas à simulação em si como pano de fundo. Com o rápido desenvolvimento de todos os recursos computacionais (aí incluindo não apenas processadores, mas também placas gráficas, dispositivos periféricos, etc.), as possibilidades de simulação começam, então, a ser ampliadas, conseqüentemente, também ampliando as possibilidades de aplicação de RV. Mais ainda com o advento e expansão da Internet, e de recursos de RV aplicados a ela (vide a linguagem VRML [3]). Mas, neste contexto, a simulação adquire um novo relevo dentro do desenvolvimento do campo de RV, suscitando novos estudos acadêmicos.

De fato, a questão da simulação introduz uma particularidade fundamental da representação em realidade virtual. Como nos diz Edmond COUCHOT [4] :

“Enquanto a representação ótica se limita ao aspecto visível do real, reduzido à dimensão bidimensional do plano de projeção ou de inscrição, a simulação numérica reconstrói o real a partir de descrições da linguagem lógico-matemática, eventualmente no seu aspecto visível (...), mas sobretudo no devir virtual que conhecerá no curso de suas interações com o observador. Simulação e interatividade estão ligadas. Simulamos para interagir.”

Couchot, então, enfatiza a necessária presença de um modelo numérico que se interpõe entre a intenção de quem criou um determinado cenário virtual e o que se pode ver e sentir acerca deste. O realismo de uma cena em RV se deve, não a uma estrita correspondência com a realidade, mas sim a um *sentimento* de realidade. Uma simulação não é o real replicado, mas sim uma representação vivenciada como real pelo usuário. É um *modelo* que necessariamente enfoca e enfatiza determinados elementos e relações em detrimento de outros. Assim, o modelo da simulação é intermediário na relação entre o usuário e o ambiente. Em outras palavras, é ele que define as *possibilidades* e os *limites* da experiência que são permitidas ao usuário no ambiente virtual em que está imerso.

Além disso, este modelo impõe uma *versão* do que está sendo vivenciado. Quem desenvolve o ambiente modela uma determinada interpretação do mundo onde o usuário imerge. Esta interpretação obedecerá a determinadas metas, que podem ser desde objetivas e pragmáticas, até subjetivas e artísticas.

MELLET D'HUART *et al.* [5], com o objetivo de explorar as possibilidades de RV em ensino e treinamento, propuseram uma tipologia para sistema de RV, que os classifica segundo 5 critérios:

1) Relação com a realidade:

a. Desenvolvimento baseado em fantasia

A intenção é a de construir um ambiente num contexto imaginativo podendo, por exemplo, focar em propósitos mais emocionais, ou artísticos.

b. Reprodução direta da realidade

A intenção é que o usuário distinga o mínimo possível entre virtual com o real. Um exemplo típico deste caso é o de simuladores em geral. A escala de tempo e espaço é de 1:1.

c. Reprodução reestruturada da realidade

O modelo de simulação, neste caso, pode reajustar alguns elementos, como por exemplo, escala de tempo ou espaço. Além disso, podem ser realizadas “transduções”, ou seja, substituições de informação sensorial que deveria ser apresentada a um sentido, sendo transportada para outro (por exemplo, uma informação de intensidade de algum fator ser transmitido no formato de cores diversas).

d. Acréscimo à realidade

Não se trata aqui de realidade aumentada, estritamente, mas de também considerar a possibilidade de, mesmo em um ambiente virtual de modelo que se proponha a ser realista, acrescentar informações que não seriam percebidas em ambientes realistas como os tratados no tópico anterior.

i. Acréscimo natural à realidade

Consiste em aumentar as possibilidades normais do usuário de perceber elementos do ambiente. Por exemplo, poder ver através de um objeto, ou radiação; ouvir o que seriam ultrasons, etc.

ii. Reificação

Trata-se de transformar dados abstratos, sem forma original (equações matemáticas, por exemplo), em representações perceptíveis de objetos e eventos. Por exemplo, acrescentar ao modelo virtual de uma máquina em funcionamento elementos perceptíveis que representem modificações de valores correspondentes a alguns de seus componentes.

iii. Acréscimo diagramático à realidade

Semelhante ao anterior, mas agora se referindo a elementos como setas, diagramas, sinais, textos, imagens, etc, que podem ser acrescentados ao ambiente onde permitam enriquecê-lo com informação que facilitem a compreensão dos fenômenos representados pelo modelo.

iv. Acréscimo conceitual à realidade

Dentro da mesma idéia, agora trata-se acrescentar conceitos abstratos, regras e conhecimento , ou seja conceitos ainda mais abstratos, representados no ambiente de forma simbólica.

2) “Modificabilidade” do Ambiente Virtual

Trata-se aqui de considerar as possibilidades de modificação do ambiente pelo usuário.

a. Aplicações pré-desenvolvidas

Nestes ambientes, os usuários podem apenas entrar e apresentar comportamentos. Toda a configuração do espaço virtual está completa neste momento.

b. Aplicação modificada pelo usuário

Tais sistemas oferecem recursos para que o usuário modifique variáveis que determinam o estado e condição do ambiente. Assim, o usuário pode ter a experiência de variações do ambiente relacionadas às modificações do ambiente que ele próprio introduziu. Por exemplo, observar diferenças de movimentos de objetos em um ambiente onde se pode variar a gravidade.

c. Itens internos desenvolvidos por usuário

Neste caso, o usuário pode criar novos elementos dentro do ambiente, observando os efeitos que acarretam.

d. Aplicações desenvolvidas pelo usuário

Aqui, o sistema fornece ao usuário recursos que o permitem construir cenários completos de RV, onde pode navegar e interagir com suas criações.

3) Uso de funções

Dependendo do objetivo de desenvolvimento do sistema, pode-se atribuir várias funções a um ambiente virtual, tais como:

a. Função de Apresentação ou de percurso

Quando o interesse está apenas na observação do cenário e de seus objetos.

b. Função de prática ou ensaio

A prática de utilização dos elementos do ambiente é essencial para o objetivo do sistema.

c. Função de Avaliação

A atividade do usuário pode estar sujeita a análise e avaliação, necessitando funções destinadas a tal.

d. Funções de Treinamento

Nos casos de aplicação a treinamento, o sistema pode ter que apresentar funções específicas para este fim (tais como por exemplo, funções para guiar o aprendiz no processo)

4) Agentes virtuais

Como, no caso do trabalho em questão, trata-se de falar sobre sistemas de treinamento e educação, os agentes representam mais freqüentemente personagens virtuais cujo papel depende do propósito do ambiente.

a. Sem uso de personagens

Agentes tem funções invisíveis ao usuário, regulando alguma funcionalidade do ambiente.

b. Representação virtual do usuário

Agentes podem representar usuário. Trata-se assim do que comumente é denominado avatar.

c. Habitantes da cena

Estes habitantes podem ter funções variadas, mais, ou menos complexas, normalmente desempenhadas através da interação com o usuário.

d. Funções de trabalho

Os personagens seriam dedicados a completar trabalhos diversos, dependendo da situação. Por exemplo, em situações que envolvem trabalhos em equipe, mesmo que o sistema permita múltiplos usuários, alguns dos elementos do time podem ter suas funções preenchidas por agentes.

e. Funções Educativas

Qualquer que seja seu papel, a função do agente neste caso seria a de facilitação da função educacional, tais como os de tutores, treinadores,

companheiros ou oponentes virtuais. Tais papéis podem ser ajustados segundo contexto e opção pedagógica adotados.

5) De usuário único a multiusuário

a. Ambiente de usuário único:

O comportamento é completamente individualizado.

b. Usuário único e entidades virtuais

Além do usuário, há a presença de personagens humanos ou humanóides complementando o ambiente.

c. Multiusuário e entidades virtuais

Como no caso anterior, porém agora com outros usuários conectados ao ambiente e representados por seus respectivos avatares.

Esta tipologia, embora concebida com a preocupação de contribuir para a análise das possibilidades do uso de RV em educação e treinamento, permite visualizar parte da variedade possível de simulações aplicadas a ambientes virtuais.

II.3 A questão do modelo

Como vimos acima, existe necessariamente uma versão, ou um *modelo* que configura o mundo virtual (modelo este necessariamente formalizado, já que é implementado computacionalmente). Neste sentido, temos a acrescentar à tipologia descrita acima, em particular ao tópico 1.b, qual a relação que o *modelo de simulação* mantém com a realidade que busca representar. Acrescentemos, então, os seguintes desdobramentos do tópico citado:

- a) Mundo virtual simula um mundo real concreto, específico, atual, acessível

As técnicas utilizadas neste caso necessariamente envolvem registros da cena específica do mundo real, tais como mapas, medições locais, fotos, vídeos, imagens digitalizadas. A fotogrametria já era utilizada como forma de registro nestas situações, antes da utilização do computador. Nos dias de hoje, está sendo ampliada através do uso de programas de fotomodelagem que transformam fotogramas de 2 dimensões em modelos 3D dos locais fotografados. Existem, também, scanners 3D, que geram diretamente a imagem em três dimensões. Estes modelos 3D podem ser utilizados como documentação e registro, permitindo análises e medições a qualquer momento, mesmo depois de modificado o ambiente que havia sido fotografado. Por isto, esta técnica é útil em aplicações em que o ambiente registrado sofrerá alterações, mas que

ainda pode ser necessário estudá-lo ou analisá-lo. Por exemplo, em caso de desastres ou crimes, quando as causas devem ser determinadas para estudos como prevenção, obtenção de seguro, julgamento judiciário, etc. Outro exemplo é o de acompanhamento de escavações em arqueologia ou paleontologia. À medida que a escavação evolui, as camadas superiores evidentemente são destruídas. Eventualmente, pode ser necessário ter acesso à situação em que se encontrou determinado objeto ou animal, a fim de avaliar hipóteses surgidas *a posteriori*. A documentação completa de toda a escavação fornece informações muito úteis.

Note-se que, em si, estes modelos 3D não fornecem um ambiente propriamente virtual, já que não apresentam imersão nem interação, mas apenas *visualização*. No entanto, podem fornecer subsídio para a recriação da cena em um ambiente virtual, onde os usuários, mesmo que se situando remotamente, possam percorrê-la como se nela estivessem. Por exemplo, poderia se imaginar, em caso de desastres naturais, especialistas examinando, numa navegação em 3D, os detalhes do ocorrido, através de um retorno virtual ao cenário da ocorrência. Isto permitira análises mais profundas e fundamentadas das causas e formas de prevenção ou proteção contra novos desastres do mesmo tipo. Outros exemplos são aplicações deste gênero projetos de planejamento (restauração, estudos *in loco*, etc.), documentação, ensino e pesquisa de Patrimônio Histórico, Turismo Virtual, etc .

- b) Mundo virtual simula um mundo virtual concreto, específico, porém inacessível, no tempo ou no espaço

Aqui a situação é semelhante à anterior, utilizando freqüentemente técnicas semelhantes de registro. Ainda se trata de manter fidelidade a uma cena específica, mas esta não está ao alcance direto daqueles que pretendem estudá-la ou manipulá-la.

No caso de distâncias no tempo (cenas ou elementos passados ou futuros), os registros dão conta de informações, não acerca da cena ou do elemento a modelar, mas do estado presente do material ou do espaço físico onde estava ou estará o que será modelado. No caso de reconstituições do passado, o que se possui são indícios, pistas, elementos remanescentes. Quando se trata de projetos futuros, conhece-se a situação atual, o local ou o estado daquilo que se pretende modificar. O que se deseja é poder prever o resultado das alterações a serem feitas. As situações de *restaurações* podem envolver ambas as anteriores, ou seja, estudos do passado, e

viabilidade da recuperação futura. Estas são técnicas utilizadas em arquitetura, arqueologia, preservação de patrimônio histórico, etc.

Novamente, os estudos podem apenas se limitar a simples visualizações. No entanto, a construção de ambientes virtuais pode ser muito útil para avaliações mais completas, além de servir para testes de hipóteses ou de adequação (estética ou ergonômica, por exemplo), divulgação, ensino, e treinamento nas disciplinas envolvidas. Um exemplo de disciplina na qual esta abordagem se aplica é Arqueologia [6].

Mas não é apenas no tempo que pode acontecer o afastamento da situação real a ser modelada. Também a distância no *espaço* pode ser tratada com estas técnicas. Não se trata apenas do usuário compartilhar ambientes com outros usuários, mas neste caso de poder manipular um equipamento (por exemplo, um robô) à distância num ambiente real, inacessível e/ou possivelmente hostil (*espaço cósmico*, fundo marinho, ambientes insalubres, etc). Os registros de ambiente afastados no espaço são dados, neste caso, em tempo real, por câmeras e outros equipamentos de medição de variáveis ambientais como temperatura, pressão, gravidade, etc. O comportamento do equipamento também deve ser monitorado, em suas respostas à ação do usuário. Este tipo de utilização das técnicas tem a vantagem óbvia de permitir atuar sobre um ambiente de outra forma inacessível ou perigoso, evitando expor seres humanos ao dano potencial dessas situações. Um exemplo amplamente divulgado pela imprensa foi o passeio do pequeno robô em Marte.

- c) Mundo virtual simula um mundo real, porém modelado de forma conceitual e abstrata

Neste caso, a simulação não pretende replicar algo concreto, material, mas sim modelar processos *conceituais* acerca do real, que se pretende estudar em seus vários potenciais de comportamento. Os modelos, nestes casos, são fornecidos pela disciplina que estuda estes processos, e que deseja testar hipóteses, avaliar a adequação dos próprios modelos e sua correspondência com os achados experimentais. Por exemplo, em arqueologia, história e antropologia, reconstruções de sítios arqueológicos de importância histórica nos quais são inseridos seres humanos virtuais, permitem avaliar o *modus vivendi* dos habitantes destes locais.

Como se trata de modelagem conceitual, a definição do ambiente é dependente da disciplina que o utiliza. Por exemplo, um ambiente virtual que simule um ecossistema deve incluir muitas regras complexas de interação entre espécies animais e vegetais. Estas regras não precisariam ser incluídas em um sistema

utilizado no contexto do paisagismo, mesmo que ambos os casos estivessem representando exatamente um mesmo ambiente, com a mesma disposição dos seres vivos representados. Note-se que, mesmo nos mundos concretos, como os mencionados nos tópicos anteriores, há sempre escolha das referências e dos parâmetros que irão descrever este mundo, que é feito com base nos objetivos (e, portanto, necessariamente, com o viés) adotados pelo desenvolvedor. Retomando COUCHOT [4], não há como prescindir de um modelo lógico-matemático de simulação, intermediário entre o desenvolvedor e o espectador/usuário do sistema .

Novamente, estes ambientes virtuais servem, não apenas para estudos de viabilidade e testagens de muitos tipos, mas também para ensino e divulgação destes estudos, além de treinamento de técnicas utilizadas pelas disciplinas em questão. Um caso que merece nota é o de treinamento de médicos cirurgiões. Corpos humanos virtuais podem, sem nenhum problema ético de causar danos a quem quer que seja, servir para simular diferentes tipos de situações críticas, como choques anafiláticos ou hemorragias, preparando os estudantes para enfrentá-las. De uma maneira geral, portanto, esta abordagem serve à visualização científica e técnica, de várias formas.

d) Mundo virtual simula um mundo virtual fictício

Pretende-se aqui desdobrar o tópico “desenvolvimento baseado em fantasia” da tipologia de Mellet d’Huart descrita acima, com o objetivo de explorar as possibilidades de RV, especialmente no âmbito artístico. Assim, poderíamos ter:

→ mundo virtual fictício realista

Esta abordagem restringe a correspondência com a realidade apenas à plausibilidade das situações, fornecidas basicamente pelo senso comum. Por exemplo, regras da física, como gravidade, colisão, etc., devem ser implementadas, para que o sistema tenha credibilidade. O local não precisa existir concretamente, seres humanos virtuais podem apenas ser personagens, mas, aos olhos do usuário, tudo deve parecer o mais natural possível. São situações *vivenciais* que interessam. Interações humanas, passeios imaginários, etc.

A aplicação que mais imediatamente nos vem à mente é, naturalmente, a arte e o entretenimento através de jogos ou de narração de histórias interativas. As técnicas de RV abrem inúmeras possibilidades artísticas, que ultrapassam em muitos elementos o cinema tradicional: as histórias aqui não são lineares, seqüenciais, mas podem ser construídas juntamente com o(s) usuário(s), em situações interativas que, a cada vez, acontecem de forma nova e diferente.

Além disso, as técnicas virtuais também auxiliam o cinema tradicional. Por exemplo, a criação de multidões para complementar cenas com atores reais pode ser implementada através da utilização de seres humanos virtuais que apresentam comportamento plausível, mas bastante variado, dando verossimilhança ao conjunto, poupando o uso de cenários imensos, preenchidos com figurantes reais.

Esta abordagem de RV, no entanto, não se limita a arte e entretenimento. Outras simulações vivenciais podem auxiliar em muitos casos de interações humanas potencialmente problemáticas. Por exemplo, pacientes psiquiátricos podem desenvolver sua capacidade de lidar com situações cotidianas através da utilização de ambientes virtuais que reproduzem eventos do dia-a-dia, como andar na rua, fazer compra, enviar carta no correio, etc. [7].

→ mundo virtual fictício completamente fantástico

Em princípio, estes são os casos em que o modelo não precisa se prender a nenhuma regra ou lei do real, podendo gerar qualquer possibilidade. No entanto, só será considerado RV se o usuário estiver imerso (psicologicamente envolvido) e puder interagir em tempo real, mesmo que minimamente (navegar, colidir com elementos), com este ambiente. Estas são, no entanto, as únicas restrições.

Obviamente, arte e entretenimento são as aplicações evidentes. Desnecessário dizer o quanto se pode ampliar suas possibilidades. Pode-se, por exemplo, imaginar um sistema que nos permita vivenciar um passeio por mundos como os de Salvador Dali, ou de Picasso, sem nenhum compromisso com o mundo real tal como normalmente é vivenciado por nós.

Apesar de à primeira vista, as únicas aplicações parecerem se restringir aos terrenos da arte e do entretenimento, aplicações inusitadas podem surgir. Como exemplo, a recriação de alucinações vividas por pacientes psiquiátricos em ambientes virtuais, não apenas tem auxiliado em sua compreensão e tratamento por parte de todos os que tratam e convivem com estes pacientes, mas até mesmo para ajudar a curá-los. Em notícia veiculada pela imprensa [8], médicos australianos estariam utilizando esta técnica na tentativa de ajudar a convencer seus pacientes de que suas alucinações não são realidade, ou ao menos para que tenham a oportunidade de criar estratégias para lidar com elas. Quer seja, ou não, verdadeira esta notícia, ao menos aponta esta possibilidade. Evidentemente, esta abordagem suscita toda uma série de questões, não apenas médicas, mas também éticas. Mas isto é muito frequente quando se trata de inovações realmente revolucionárias, e não faz parte do escopo deste trabalho discutí-las.

II.4 A presença do Usuário nos Ambientes Virtuais

Como já visto, simulação, imersão e interatividade são elementos inseparáveis em RV. Entretanto, a simulação como finalidade de um sistema é já, há bastante tempo, amplamente utilizada em sistemas de apoio à decisão, e em estudos científicos. Desde planilhas que simulam cenários econômicos até sistemas em MAPLE ou MATLAB gerando apresentações dinâmicas de sistemas matemáticos extremamente complexos, muitos sistemas de simulação podem ser descritos sem que façam parte da área de Realidade Virtual. Apenas a presença de uma simulação, conjugada com uma apresentação gráfica em 3D, não é suficiente para conferir o status de um sistema de RV. É fácil perceber isso se pensarmos que muitos sistemas matemáticos realizam simulações que são apresentadas em gráficos tridimensionais. Simples planilhas computacionais comumente encontradas em PCs domésticos já fazem isso há algum tempo. Por sua vez uma interação simples como a mera entrada de parâmetros numa planilha também é possível há muito, em variados tipos de simulações, e isso pode ser freqüentemente realizado em tempo real. Existem, portanto, sistemas de simulação, com apresentação em 3D, com interação em tempo real, e que não podem ainda ser considerados como sistemas de RV. O ponto essencial que falta é a *imersão* do usuário no ambiente englobado pelo sistema.

Por *imersão*, pretende-se referir ao *tipo de conexão* que o usuário estabelece com o sistema de simulação durante sua interatividade com ele. Quando um usuário meramente entra parâmetros de simulação numa planilha, por exemplo, ele não é um *participante* desta interação, mas apenas seu controlador. Num sistema de RV, o usuário interage com o mundo virtual através de um *representante* – usualmente denominado *avatar* – que é inserido no sistema como um componente deste, participando da simulação, e portanto, estando sujeito, assim como qualquer outro elemento do ambiente, às suas regras. Desta forma, este representante, mesmo sendo controlado pelo usuário, o é, porém, segundo as possibilidades e limitações que a simulação lhe fornece. Este tipo de interface tem fundamental importância na vivência de presença, na imersão e na intensa interatividade proporcionadas por um ambiente em RV. Um avatar corresponde, em outras palavras, ao “corpo virtual” do elemento humano real, que permite que este último se insira no ambiente virtual.

A representação que este avatar assume depende do contexto e das finalidades deste ambiente. Pode ser - e freqüentemente é – apenas um *ponto de vista*, como uma espécie de “Câmera Ambulante” (os “olhos” do avatar) que passeia no cenário, ainda sem descartar a sua sujeição às regras (como colisão e danos, ou “mortes”, como ocorre nos games). Este tipo de situação é denominado de “primeira

pessoa”. Há casos em que o usuário controla, por exemplo, uma máquina, como um carro ou um avião, e seu ponto de vista poderá se situar dentro ou fora da cabine. Ainda aqui, o que se denomina como avatar é o *piloto* das máquinas, e não elas próprias. No entanto, há ambientes que o usuário visualiza seu representante de forma gráfica, normalmente num olhar superior (“God’s view”, ou visão de 3ª. pessoa). Em qualquer dos casos, o comportamento de um avatar depende das entradas fornecidas pelo usuário e sua interação com as *regras do ambiente*. Uma vez computadas tais entradas segundo essas regras, são geradas suas conseqüências, tanto para o ambiente virtual e quanto para o próprio avatar .

Com crescentes desenvolvimento e ampliação, tanto das técnicas e tecnologias, quanto das aplicações, de RV, as simulações foram podendo se tornar mais e mais complexas. Além de uma “física” de mundos virtuais, cenários mais complexos começam a poder incorporar também uma “biologia” (vida artificial), e até uma “sociologia” e uma “economia”. Um exemplo de complexidade continuamente crescente é o dos tão populares MMORPG (**m**assive **m**ulti-**u**ser **o**nline **r**ole **p**laying **g**ames). Estes são sistemas multi-usuários, distribuídos, que podem incluir técnicas de RV, Inteligência Artificial, Vida Artificial, ou seja sistemas complexos e dinâmicos em geral, com imersão e interatividade intensa dos usuários com o meio e entre si. No meio acadêmico, cenários virtuais com alto nível de complexidade são usualmente denominados Ambientes Virtuais Inteligentes.

Como aconteceu com os sistemas tradicionais, o aumento da complexidade gerou uma demanda de novas formas de especificação dos comportamentos dos elementos de tais sistemas. No caso dos sistemas tradicionais, passou a ser adotada, para sua modelagem e sua implementação, predominantemente a orientação a objetos. No caso dos ambientes virtuais, entretanto, é necessária uma dinâmica entre seus elementos que dê suporte a comportamentos mais autônomos. Trata-se de trazer “vida” aos ambientes, o que significa um nível ainda mais alto de complexidade.

Os sistemas multiagentes, conceitualmente inseridos no campo da Inteligência Artificial, mostraram ser os mais adequados para a modelagem e implementação de Ambientes Virtuais Inteligentes. Mais adiante, este assunto será discutido mais detalhadamente. Pode-se adiantar, entretanto, que se trata de poder viabilizar, para os componentes (agentes) do cenário virtual, comportamentos autônomos, independentes, com metas próprias, mas ainda mantendo suas interações e comunicações. No presente trabalho, o interesse central está na modelagem de um tipo particular de agentes virtuais, aqueles que apresentam comportamento humanóide. Embora possam ser graficamente representados de formas variadas,

muito freqüentemente semelhantes às de avatares, estes personagens virtuais têm o seu comportamento controlado computacionalmente, e não por um usuário. Dependendo do objetivo ou da abordagem da aplicação, podem ser denominados humanos, atores (ou personagens) digitais, sintéticos ou virtuais. No contexto de jogos em computador, são ditos *bots* (especialmente em jogos FPS – first person shooter), ou *NPCs* (Non Player Characters, particularmente em jogos RPG – role playing games).

Da mesma forma que acontece com o ambiente RV como um todo, não há como pensar em personagens virtuais como “réplicas” de seres humanos. Daí porque ter sido preferida, de todas as designações citadas acima, a de “personagem”. Dependendo do objetivo, da aplicação, da abordagem, diferentes aspectos serão ressaltados em detrimento de outros. Trata-se aqui, novamente, de modelar *formalmente* o comportamento. Mas jamais se pode perder de vista a questão fundamental, comum a todo elemento de uma aplicação de RV: a *verossimilhança*, sem o quê arrisca-se perder a sua credibilidade.

II.5 Discussão

A Realidade Virtual é uma disciplina em permanente evolução, que amplia seus domínios e aplicações cada vez mais, não podendo mais se limitar a ser descrita simplesmente como uma tecnologia de interface. O que é importante reter como característica de um sistema de RV é a necessária integração de três elementos essenciais: imersão, interatividade e simulação.

Apesar de conter a palavra “realidade” em sua denominação, não se trata de buscar replicar a realidade, mas sim de apresentar um modelo de mundo, que pode tentar retratar algum cenário real, mas que também pode ser completamente imaginário. O usuário deve poder envolver-se e fazer parte deste mundo através de seu avatar. Assim, avatar e mundo virtual podem interagir e modificar-se mutuamente.

O elemento humano nestes mundos virtuais pode aparecer sob duas formas: os avatares, representantes de seres humanos reais (os usuários) , cujo comportamento é controlado por estes; e os personagens, representantes humanóides de componentes do ambiente, cujo comportamento é totalmente determinado por computação. Desta forma, como acontece com qualquer outro elemento de um mundo virtual, um personagem é uma simulação, um modelo parcial, uma versão, que aparece dentro de um determinado contexto, com determinadas finalidades. A programação de seu comportamento depende deste contexto e desta finalidade.

Entretanto, a credibilidade é um fator compartilhado por todos os casos. Pode-se buscar uma arquitetura básica independente, que permita conduzir a construção de personagens virtuais, de forma a facilitar o desenvolvimento de criaturas plausíveis, em grande número de aplicações de ambientes virtuais inteligentes. Afinal, quaisquer que sejam os personagens virtuais, eles tem uma coisa em comum: a necessidade de verossimilhança de seu comportamento com o comportamento realmente humano, no contexto do sistema em questão.

A importância desta arquitetura básica é fornecer uma estrutura mínima na qual seja possível modelar as possibilidades e as limitações do personagem virtual que se pretende obter. Dependendo da simulação em curso, é uma questão fundamental para a credibilidade do sistema considerar quais elementos de definição do comportamento serão implementados em detrimento de outros. Por exemplo, se falamos de uma simulação que pretende avaliar rotas de fuga em casos de acidente, os personagens humanos devem ser modelados em função de aspectos como: pânico, desejo de salvamento de pessoas queridas, possíveis crenças na resolução da situação, etc. Não caberia, por exemplo, implementar quais daquelas pessoas tem preferências por maçãs ou por uvas. No contexto da aplicação, é totalmente irrelevante, mesmo que, na realidade, as pessoas, quer estejam quer não em perigo, tenham de fato suas próprias preferências com relação a frutas. Se, em outra aplicação, estivermos falando, por exemplo, de uma narração virtual de histórias infantis, a preferência por maçãs ou uvas por parte dos personagens pode ser importante para alegrar e enriquecer sua interatividade com as crianças.

Em qualquer das circunstâncias – nunca é demais enfatizar - permanece a necessidade básica de todo personagem virtual: verossimilhança. O que significa dizer que, em qualquer caso, há a necessidade de que o usuário acredite ter diante de si uma criatura viva, com pensamentos, idéias e sentimentos, com quem possa ter uma interação psicologicamente envolvente.

III Panorâmica de Aplicações de Personagens Virtuais

Quanto se trata de personagens virtuais, a primeira idéia que freqüentemente ocorre em termos de aplicação é entretenimento. Os jogos computacionais, em primeiro lugar, são aqueles que divulgam explicitamente a aplicação de Inteligência Artificial em seus personagens, fazendo mesmo deste elemento uma peça de marketing. Mais recentemente, o cinema também tem divulgado, através de seus “*making of*” difundidos na mídia, como muitos personagens virtuais são acrescentados após a cena com atores reais terem sido feitas. São os chamados “dublês virtuais” usados em cenas perigosas (como em *Titanic*, de James Cameron, por exemplo), ou em cenas de multidões (batalhas, como em *Senhor dos Anéis*, de Peter Jackson). Não me refiro aqui aos personagens construídos graficamente a partir de captura de movimento de atores reais, mas sim a personagens cujo próprio comportamento é determinado computacionalmente.

Embora só este campo de aplicação seja por si só imenso, e provavelmente uma fonte inesgotável de possibilidades criativas, ainda assim não dá conta das inúmeras aplicações possíveis que se pode fazer de personagens com comportamentos computacionalmente determinados. A seguir, tentaremos fornecer algumas das idéias que mais se evidenciaram no mercado. Entretanto, dado o volume e a velocidade sempre crescentes dessas possibilidades, o presente panorama não pretende abordar o tema de forma exaustiva (o que, aliás, seria impossível). Apenas a título de ilustração, agruparemos os exemplos tomando como critério alguns tipos de aplicação, tais como:

Interface Humano-computador: personagens com relativa autonomia e adaptabilidade ao comportamento do ser humano com o qual interage.

Marketing: utilização de sistemas como os já citados para atendentes virtuais (vendedores, recepcionista, assistentes para informações e instruções sobre produtos);

Demonstração, Educação e Treinamento: sistemas de demonstração e treinamento conduzidos por personagens digitais.

Ergonomia e Desenvolvimento de Produtos: simulações do uso de produtos e de equipamentos de produção e manutenção dos mesmos.

Pesquisa em Ciências Humanas e Artes: Arqueologia, Antropologia, Arquitetura, etc. podem se valer de personagens virtuais para recriar ambientes “habitados” e avaliar as relações entre os seres humanos nestes espaços.

Indústria de Entretenimento: atores virtuais como personagens de animação, dublês ou figurantes, personagens fictícios mais complexos para jogos computacionais ou narração virtual de histórias;

A seguir, procuraremos discutir a idéia geral de cada um dos casos citados, exemplificando com ao menos uma aplicação que tenha sido realmente desenvolvida. Como veremos no que se segue, o que esta variedade nos mostra é que as características comportamentais humanas (habilidades, percepções, etc.) que são necessárias e devem ser modeladas dependem essencialmente da aplicação que se deseja realizar.

III.1 Interface Humano-Computador

É bastante comum encontrar nas empresas funcionários que tem uma certa “tecnofobia”, ou seja, uma certa resistência ao uso de novas tecnologias, em particular ao computador. Um certo mito de complexidade afasta estas pessoas da máquina, que lhe parece estranha e desagradável. A idéia de introduzir personagens na interface entre o usuário e o computador veio justamente para tentar diminuir este distanciamento, tornando a interação mais natural e familiar. Assim, as dúvidas, as interações, enfim, as necessidades gerais do usuário com respeito ao seu trabalho na máquina podem ser satisfeitas através da ajuda de um personagem com características afetivamente agradáveis, que haja como um amigo diante de suas dificuldades.

O exemplo bem conhecido é o dos assistentes de ajuda de produtos da Microsoft®[9]. São personagens não necessariamente humanos, mas com comportamentos humanóides. Fornecidos em aplicativos da própria empresa, são também disponibilizados para desenvolvedores de sistemas que queiram utilizá-los em suas aplicações, incluindo na WEB. As sugestões de uso apresentados no *site* da Microsoft® são, por exemplo: um anfitrião para tutorar um novo usuário do sistema quando o utiliza pela primeira vez, ou quando precisam de orientação durante os passos de certas tarefas determinadas; um mensageiro que apresenta notificações ou alertas quando da ocorrência de certos eventos (chegada de e-mail, por exemplo); um assistente que pode realizar certas tarefas, tais como buscas na internet.

O foco de um personagem deste tipo é o usuário. São as entradas que ele dá que são realmente processadas e que condicionam as saídas. Se observarmos o *comportamento* propriamente, ele não está vinculado ao conteúdo da interação que está se dando com o usuário, mas sim com a expressão de formas afetivas de contato. Na verdade, se trata de um conjunto de animações representando atitudes

relativamente estereotipadas de simpatia, humor, etc., e que são geradas com pouca ou mesmo nenhuma relação com o que está sendo dialogado entre personagem e usuário. O objetivo é apenas gerar um “clima” amigável.

Ou seja, embora os personagens incluam um processamento complexo, inclusive processamento de linguagem natural, este não está voltado para as características do comportamento visível do personagem, que tem apenas o intuito de torná-lo mais agradável. Por exemplo, uma assistente de ajuda do Office pode ter a forma de um bichinho de estimação, como um gato, e se comportará como tal, de forma totalmente independente da ajuda que está prestando. Pode se coçar, dormir, ou miar, etc., e isto que não terá nenhuma relação com o conteúdo que eventualmente exibe na fala. A definição da “personalidade” do personagem não necessita valer-se de inteligência artificial nem de computação gráfica complexa, mas apenas de variadas animações simples, que, no máximo, buscam acompanhar com expressões corporais algumas expressões de fala (como acontece em situações de dúvida, por exemplo).

REHM *et al.* [10] ampliam este desafio da interação personagem humano para as várias gradações entre virtual e real. Desde a interação com robôs, físicos, até o diálogo com seres virtuais, e ainda passando por situações onde o personagem virtual tem que lidar com o real, quando é situado em ambientes de realidade Aumentada, fica evidente a necessidade de enriquecer as capacidades destes personagens para que as interações possam se tornar de fato mais expressivas e interessantes.

III.2 Marketing

Os assistentes desenvolvidos nos projetos voltados para interação humano-computador, citados acima, podem também ser utilizados na área de Marketing, como atendentes virtuais, atuando como vendedores, recepcionista, assistentes para informações e instruções sobre produtos, em tópicos como uso, manutenção, etc. A idéia é recriar virtualmente um ambiente de atendimento pessoal em que o usuário se sinta realmente atendido por um ser humano, e não por uma máquina. De fato, nestas aplicações, grande parte do processamento tem como alvo a interação com o usuário, o que torna os modelos descritos anteriormente adequados para esta aplicação.

RIST *et al.* [11], por exemplo, apresentam uma arquitetura para desenvolvimento de sistemas em *e-commerce*, e apresentam o exemplo de um *eShowroom*, onde vários personagens, com distintas personalidades, discutem as características de diferentes carros, em interação com o usuário. Note-se que foram utilizados os agentes da Microsoft® [9] para apresentação deste exemplo.

Já anteriormente ANDRÉ *et al.* [12] vinham desenvolvendo o trabalho com estes personagens. Já havia desde então maior preocupação com uma modelagem emocional mais complexa, que definia emoções primárias (reação ao ambiente), e secundárias (reações baseadas em cognição), sendo as primeiras estabelecidas como regras reativas, enquanto as últimas, exigindo uma máquina de raciocínio afetivo. Estes processamentos são realizados para determinar como o personagem irá apresentar suas expressões faciais e corporais em tempo real. Quanto à personalidade, ela promove uma tendência a certos estados motivacionais e estabelece algumas metas de diálogo. Por exemplo, personagens extrovertidos apresentam maior chance de iniciar diálogos.

III.3 Demonstração, Educação e Treinamento

Além de marketing, outra área de utilização natural de assistentes virtuais é a de demonstração e treinamento de tarefas ou desenvolvimento e uso de produtos e equipamentos. Afinal, estas são atividades que envolvem desempenho motor, o que é mais bem captado por apresentação do que por descrição verbal. A vantagem do personagem virtual sobre o instrutor humano é sua incansável disponibilidade e sua reprodutibilidade praticamente irrestrita.

O papel deste instrutor virtual, assim como o real, seria o de acompanhar o estudante, respondendo questões e oferecendo conselhos, mas também apontando erros e chamando atenção a certos detalhes do procedimento. Um projeto muito conhecido deste tipo é o STEVE (SOAR Training Expert for Virtual Environments) [13], construído para servir como tutor e colaborador que acompanha o estudante em tarefas de aprendizagem de procedimentos [14,15]. Assim, inicialmente, pôde servir de guia em ambientes virtuais, chamar a atenção de certos elementos deste ambiente através de gestos, como apontar, responder perguntas como “por que?” ou “o que faço agora”, etc. Seu corpo era simples, não tendo apenas a parte superior sendo apresentada ao usuário. À medida que foi desenvolvido, pôde então passar a comportar-se como um personagem do ambiente de realidade virtual mais amplo, como o morador de uma cidade, por exemplo [16]. As tarefas de aprendizado passaram a ter objetivos mais complexos, envolvendo inclusive resoluções de conflitos. Para este último tipo de aplicação, passou-se a ter preocupação com o desenvolvimento da manifestação de emoções e de personalidade. As emoções são processadas pela inteligência artificial através de planos e tarefas, e também envolvem interação social, situada numa meta-camada. As perspectivas do projeto incluem a integração de: melhor processamento de linguagem natural e corporal, melhor percepção e implementação de emoções e personalidade.

Para demonstração de montagens complexas de componentes físicos, foi desenvolvido o Projeto Max (Multimodal Assembly eXpert) [17], que propõe um “comunicador articulado”. Trata-se de um agente virtual capaz de apresentar gestos coordenados com atos de fala sintética e animações faciais de forma natural. Situa-se num ambiente de simulação de tarefas de montagem, o Construtor Virtual. Uma aplicação deste tipo precisa se preocupar especialmente com os movimentos do corpo como um todo, que deve demonstrar como se realiza determinada montagem. Assim, não se trata apenas de gestos como formas de expressão, mas sim de gestos que vão desde o apontar certo elemento, até o movimentar de certas peças para encaixe, por exemplo. Neste caso, então o sistema de referências espaciais é de particular importância. Tudo isso ainda deve também estar coordenado com uma fala acompanhada do correspondente movimento labial, além de uma expressão facial coerente (embora não haja necessidade da expressão de emoções particulares). Também alguns movimentos que dão naturalidade, como piscar de vez em quando, e fazer certos movimentos de mão e cabeça que acompanham a fala, complementarão a credibilidade do humano virtual. Um modelo de organização hierárquica do controle motor foi então produzido para este fim. [18,19]

As tarefas que mais exigem treinamento e demonstração, tendem a ser exatamente aquelas mais complexas. Com a complexidade, vem a necessidade de suporte, por parte do instrutor, às vicissitudes que o aluno terá que passar para atingir o nível adequado de desempenho. Assim, a tendência, mesmo no caso de personagens que se poderia supor como “meramente” demonstradores e instrutores de tarefas motoras é a de que sejam solicitados no sentido de terem um comportamento cada vez mais flexível e adaptável.

III.4 Ergonomia e Desenvolvimento de Produtos

Personagens virtuais são também utilizados para testes ergonômicos, seja de produtos, seja de seus processos de produção. Testa-se adequação, segurança, conforto, eficácia, etc. para vários tipos físicos, ou seja, diferentes pesos, alturas, compleições, enfim, todas as variáveis cabíveis em cada caso. Esta abordagem em muitos casos pode representar uma grande diminuição nos custos do desenvolvimento de produtos, em todos os níveis da produção, chegando mesmo ao usuário final.

Um exemplo deste uso de personagem virtual é o projeto comercial JACK, atualmente mantido pela empresa UGS [20]. Em termos de modelagem, o foco central aqui é o corpo humano e suas propriedades biomecânicas. Processam-se as relações entre dimensões corporais, peso, flexibilidade e força musculares, resistência, etc. A

preocupação maior é a de que os movimentos sejam o mais exatamente possível correspondentes àqueles que um ser humano real, típico, executaria quando se relacionasse com o item sendo testado. As questões para as quais se busca resposta dizem respeito a: posicionamento e conforto, visibilidade para pessoas de diversos tamanhos, entrada e saída do equipamento, alcance e manipulação, operação de pedais, interação entre vários usuários, manutenção realizada pelo usuário, força necessária para operar o produto, potencialidade para danos, etc. Personagens virtuais modelados para este objetivo, em princípio, não precisam ter ou expressar emoções, e os conhecimentos que devem possuir são muito básicos (ou seja, como se movimentar).

Entretanto, tendências mais atuais em Ergonomia ampliam seu escopo, e apontam para a importância de outros elementos a serem avaliados quando da análise de tarefas e de produtos. É assim que componentes psíquicos como memória, atenção, tratamento de informação, resolução de problemas, desgaste emocional, prazer ou desprazer, etc. passam a ser considerados elementos relevantes para que se atinja um resultado realmente satisfatório. Pode-se mesmo incluir aí situações extremas, como pânico, onde medo em espaços confinados ou não, sinalizados ou não, enfim, variadas situações, podem ser analisadas. Assim, mais que aspectos biomecânicos, seria interessante que os personagens virtuais pudessem também abarcar variáveis de cunho subjetivo, mas que pudessem ser objetivamente controladas por aquele que realiza os testes ergonômicos.

III.5 Pesquisa em Ciências Humanas e Artes

Áreas como Arqueologia [21], Antropologia, Arquitetura, Patrimônio Histórico, etc. já são bastante conhecidas por utilizar RV em reconstrução virtuais de prédios, artefatos, ambientes, etc. Mas mais já pode ser feito graças à introdução de personagens virtuais. A recriação de construções ou cidades antigas povoadas pode simular inúmeras situações interessantes, testando hipóteses acerca de modos de vida, relações entre seres humanos, e avaliações da plausibilidade de hipóteses complexas acerca das relações entre os habitantes de certo espaço desconhecido (como uma cidade antiga, em ruínas, por exemplo). Esta recriação não serve apenas para ensino e divulgação das informações destas áreas (incluindo para incentivo ao turismo), mas também para criar documentação e pesquisas que permitem avaliar o impacto da presença humana nestes espaços, em diferentes épocas históricas. É possível estudar as características complexas de totalidade (sua *gestalt*), que, de outra forma, não se pode capturar.

Assim, por exemplo, o Laboratório de Pesquisa Miralab desenvolveu um projeto sobre a vida em Pompéia [22], onde incluía personagens representando seus habitantes. Este mesmo laboratório também faz parte agora de um grande projeto europeu EPOCH [23], que pretende melhorar a qualidade e a efetividade do uso da informação e da Tecnologia da Informação para a conservação do Patrimônio Histórico. Uma das tarefas do Miralab é contribuir com a pesquisa no campo da reconstrução e visualização do corpo humano e das vestimentas para as simulações de integração de época a serem apresentadas.

III.6 Indústria de Entretenimento

Cinema, animação e jogos têm gerado uma grande demanda por personagens virtuais cada vez mais aperfeiçoados. Personagens de animação, por exemplo, ampliam seu estilo para incluir elementos de aspecto visual cada vez mais realistas. Existe ainda uma retroalimentação entre cinema e jogos (vide o filme inspirado na série de jogos japoneses “Final Fantasy”, e o jogo “Enter the Matrix”, inspirado na trilogia cinematográfica “The Matrix”), o que ainda aumenta mais ainda esta demanda. O cinema substitui dublês e figurantes por atores digitais. Por exemplo, “The Lion, The Witch, and the Wardrobe” (2005) apresenta uma multidão gerada pela companhia Massive[24]). Jogos de computador se desenvolvem no sentido de tornar tramas e personagens mais complexos e envolventes, com interações sociais e até mesmo econômicas entre os personagens[25].

Os atores sintéticos exigem modelagem em vários níveis, que vão desde de representação e animação de corpos individuais, com movimentos naturais de suas vestimentas, até movimentação de grandes conjuntos de atores, formando multidões, que devem se comportar ao mesmo tempo de forma natural (evitando obstáculos, seguindo caminhos plausíveis, etc.), mas não padronizada, gerando um conjunto naturalmente heterogêneo. Um grande volume de trabalho nesta linha é desenvolvido pela equipe do casal Nadia e Daniel Thalmann, que estão à frente do acima citado Miralab[26] e do Virtual Reality Lab [27], respectivamente. Detalhando os atores virtuais desde a criação de faces e corpos expressivos, com minúcias de apresentação como movimentos de cabelo e roupas, até o comportamento de personagens virtuais em conjunto, andando na rua, fazendo manifestações, jogando tênis, e até mesmo dançando, seu trabalho representa uma grande avanço no desenvolvimento de personagens virtuais. Com um grande volume de trabalho na área de animação de movimentos, seus projetos mais recentes se voltam para aspectos cognitivos e emocionais de interação social.

Além de dublês e figurantes para cinema, e dos jogos computacionais, uma nova área se desenvolve, a narração virtual de histórias. Os personagens podem ser definidos parcialmente pelo usuário através de certos parâmetros, e a história se desenrola pela interação entre eles. Frequentemente, os personagens virtuais são modelados segundo os papéis que ocupam na trama. Podem ser vilões, heróis, magos, etc. Alguns exemplos de projeto para drama interativo são desenvolvidos no GAPIS (Grupo de Agentes Inteligentes e Personagens Sintéticas) [28], com o caso do Teatrix. O Teatrix é um ambiente virtual 3D para criação de histórias que permite que crianças cooperem no desenvolvimento das suas histórias, cada uma assumindo o papel de um personagem, tal como em representações reais. Os personagens podem ser definidos parcialmente pelo usuário através de certos parâmetros, e a história se desenrola pela interação entre eles. Frequentemente, os personagens virtuais são modelados segundo os papéis que ocupam na trama. Podem ser vilões, heróis, magos, etc. Há também o Papous, um Contador de Histórias que apresenta expressões emocionais durante suas narrações.

No caso de jogos computacionais, os personagens virtuais devem frequentemente apresentar uma característica a mais: um nível de interatividade maior. Mesmo que seja simplesmente resposta à presença do usuário com perseguições, por exemplo, as ações e reações do ator sintético (chamado de *bot*, neste caso) envolvem metas e respostas relacionadas direta ou indiretamente com o jogador. Este comportamento está diretamente relacionado às próprias regras do jogo. Hoje em dia, várias empresas que desenvolvem jogos disponibilizam editores [28,29,30] que permitem que não apenas os cenários dos jogos, mas até mesmo o comportamento dos bots seja alterado através da edição de seus scripts¹. Isto torna acessível a todos os interessados a criação de novas possibilidades de apresentação visual (*skins*) e de comportamento dos elementos com os quais interagem nos jogos.

De uma maneira geral, individualmente, os atores sintéticos são modelados baseados em: a) movimentos corporais e faciais, frequentemente definidos através de captura de movimentos de atores humanos reais; b) ações definidas segundo scripts prévios (atirar, percorrer certos caminhos); ou personalidade e emoções, através de variações de estados internos. Podem ter capacidades especiais, ou não. Em alguns jogos, por exemplo, a relação entre poderes dos personagens inimigos e poderes do avatar pode ser desigual, ora favorecendo um ou outro, dependendo das metas de jogabilidade. Ainda, especialmente para interações grupais, podem simplesmente exibir um comportamento natural de movimentação em dado ambiente complexo

¹ As condições de licenciamento comercial variam e são descritas nos respectivos endereços de download.

(espaço urbano, batalhas, etc.). Neste caso, pode ser modelada alguma espécie de “cultura comum”, compartilhada pelos diferentes personagens, que define as regras de comportamento. Por exemplo, um personagem masculino, ao interagir com um personagem feminino, terá comportamentos diferentes daqueles que teria se estivesse interagindo com outro personagem masculino, ou ainda com uma criança.

Modelos computacionais desenvolvidos para personagens humanos podem, naturalmente, também servir para a utilização em personagens não humanos, como monstros, extra-terrestres, etc. O importante é que tenham um comportamento que pareça natural, crível.

III.7 Análise do Tema

O panorama de aplicações de personagens virtuais aqui apresentado permite observar que as características humanas implementadas em cada abordagem dependem essencialmente da meta da aplicação. Novamente como foi discutido acima sobre a realidade virtual em geral, não se trata de uma replicação de um ser humano “completo”, idealizado, mas de um modelo adequado a determinadas finalidades. Finalidades estas determinadas pela aplicação em questão, que atendam a certos fins, e que conduzam o usuário à ilusão de interagir com um personagem determinado.

As características que permitem verossimilhança a um ser personagem virtual gerados computacionalmente poderiam ser divididas como se segue:

- *aspectos gráficos*: as propriedades que dão verossimilhança a um personagem humano podem envolver certos detalhes, como por exemplo movimentação de pele, cabelos, roupa, etc. que exigem técnicas de computação gráfica para lidar com seus efeitos (textura, iluminação, etc.) durante a animação da cena;
- *aspectos expressivos*: as expressões faciais e os movimentos do corpo têm grande importância na transmissão de estados emocionais e intenções, sendo fundamental na capacidade comunicativa do personagem virtual;
- *aspectos corporais*: os movimentos normais de um ser humano obedecem a uma biomecânica que depende de elementos como estatura, peso, idade, força muscular, etc. que se pretende que o personagem apresente;
- *aspectos dinâmicos*: a movimentação de um ou mais personagens numa cena virtual envolve escolhas de caminho, prevenção de colisões,

etc. que exigem um planejamento básico, submetido a metas de mais alto nível de planejamento de movimentação. Em alguns casos, pode-se desejar que o personagem desenvolva movimentos mais complexos, como buscas em um cômodo, ou até passos de dança em um salão ocupado por outros elementos físicos.

- *aspectos cognitivos e emocionais*: personagens verossímeis devem apresentar um certo nível de autonomia, imprevisibilidade, intenções e metas próprias, podendo apresentar diferentes possíveis atitudes;
- *aspectos sociais*: quando apresentados em grupo, os personagens devem se comportar segundo regras de interação dependentes da cultura particular que representam.

Como vimos, cada um desses aspectos foi desenvolvido com maior ou menor detalhamento nas abordagens apresentadas, dependendo do foco central da aplicação envolvida. Podemos, entretanto, antecipar que, com o espantoso e rápido aumento da capacidade computacional em geral, e das capacidades gráficas em particular, seja possível convergir o desenvolvimento destas várias abordagens de modo a constituir um personagem virtual cada vez mais completo e verossímil.

Os aspectos *gráficos* e *expressivos* são aqueles que imediatamente vistos pelo usuário do sistema, sendo sua apresentação, sua animação. Na prática, são armazenados como biblioteca de seqüências de animação, acionadas nos momentos que convém.

Os *aspectos biomecânicos* são aquelas regras que o personagem compartilha com o meio ambiente virtual em que se encontra. Por exemplo, seu “peso” o relacionará com a “gravidade” adotada para estabelecer o “peso” dos demais objetos com que se relacionará. Nestes aspectos serão estabelecidos os referenciais comuns entre o corpo virtual do personagem e a realidade virtual em que se encontra.

Os *aspectos cognitivos e emocionais* são aqueles realmente característicos do *Personagem*, propriamente dito, e que permitem caracterizar suas individualidades. Este é o foco do presente trabalho, e consideraremos os determinantes centrais do comportamento do personagem. Assim, denominaremos sua **Arquitetura do Comportamento**.

Quando nos referimos aos aspectos *cognitivos*, entendemos como sendo aquilo que é obtido através da cognição, ou seja: conhecimento, crenças, heurísticas, processos de tomada de decisão, etc. Já os aspectos que chamamos de *emocionais*

englobam, no contexto do presente trabalho, os elementos que impulsionam e dão energia ao comportamento, tais como: motivação, afetos, impulsos, etc. Portanto, se trata de um ponto de vista amplo e abstrato, onde não se pretende detalhar os conceitos, mas sim deixar espaço para o autor do personagem caracterizá-lo segundo seu próprio ponto de vista sobre a matéria.

Os *aspectos sociais* são aqueles aspectos individuais compartilhados por grupos de personagens, e que permitem caracterizar interações especiais por conta destas características comuns. Podem ser conhecimento, reações emocionais, enfim, quaisquer comportamentos que os situem de forma conjunta em situações semelhantes, diferenciando-os de outros grupos da totalidade dos personagens do sistema.

Por enquanto, ainda é prematuro tentar definir precisamente estes termos tais como serão adotados no presente trabalho. O desenrolar da própria apresentação do mesmo tornará mais claro o significado de cada um deles, que serão retomados na discussão final. A intenção de mencioná-los neste momento é meramente introdutória.

IV Arquiteturas de Comportamento em Inteligência Artificial

Como já foi discutido, um dado mundo virtual pressupõe um *modelo* que o configura e o caracteriza, modelo este necessariamente formalizado, já que é implementado computacionalmente. No caso particular de Ambientes Virtuais Inteligentes, a complexidade, mais do que nunca, obriga aos desenvolvedores uma modelagem cuidadosamente estruturada.

Também como já apresentado, esta necessidade inclui os personagens virtuais. Estes, em particular, devem ter o desenvolvimento de seu modelo controlado de forma especial, já que o produto final deve passar ao usuário a impressão de estar diante de um ser pensante e emotivo, mas sem rigidez, ou atitudes mecanizadas. Esta complexidade adicional não é trivial, e exige que seja feita uma modelagem estruturada especialmente para comportamentos humanóides. É necessária uma *arquitetura* de base que possa conduzir o desenvolvedor durante a construção do comportamento do humanóide, mas que não imponha um excesso de restrições constrangedoras de sua criatividade. Trata-se da arte da ficção, conduzida por formalismos computacionais bem fundamentados.

Várias arquiteturas de comportamento, ou freqüentemente ditas de *mentes artificiais*, já foram propostas na literatura de Inteligência Artificial. A seguir, apresentaremos algumas delas. As duas primeiras apresentadas foram desenvolvidas por pesquisadores com preocupações mais amplas do que apenas modelar personagens virtuais. Trata-se de dois pesquisadores em Ciências Cognitivas e Computacionais: Aaron Sloman e Stan Franklin. Em seguida, serão discutidos modelos publicados nos laboratórios do já citado casal Thalmann. O último modelo apresentado neste tópico é aquele mais usual dentre os que são utilizados para implementar os *bots/NPCs*, ou personagens de jogos computacionais comerciais, também já conhecidos popularmente como *games* (embora este termo em inglês se refira a uma gama muito maior de possibilidades do que àquela a que os outros povos – incluindo o brasileiro - estão se acostumando a referir).

IV.1 O Modelo de Sloman, do Cognition and Affect Group (CogAff)

Inicialmente, apresentaremos a arquitetura mental proposta pelo líder do grupo de pesquisas **CogAff** da Birmingham University [31], o importante pesquisador em Inteligência Artificial e Ciências Cognitivas SLOMAN [32,33]. Dado o seu interesse científico amplo, Sloman não está especialmente interessado em aplicações

específicas em personagens virtuais, mas sim na concepção de uma arquitetura da mente que articule as funcionalidades cognitivas e emocionais em sua totalidade.

A arquitetura de Sloman baseia-se na combinação de dois modelos: o de torre tripla, e o de 3 camadas.

O primeiro modelo representa as divisões verticais entre os subsistemas:

- 1) perceptual: responsável por extrair dados do ambiente onde o agente está operando;
- 2) de ação: responsável por agir sobre o ambiente onde o agente se encontra;
- 3) processamento central: responsável por intermediar os dois anteriores e capaz de controlá-los.

É postulada grande interatividade entre as três torres. A Figura 1 representa este modelo, as setas representando trocas de informações entre os módulos. Por exemplo, o subsistema de ação pode fornecer retroalimentação direta ao processamento central (propriocepção) para coordenação de movimentos corporais amplos, ou pode interagir com o sistema de percepção para atingir perfeita coordenação de certas tarefas (por exemplo, coordenação entre olho e mão).

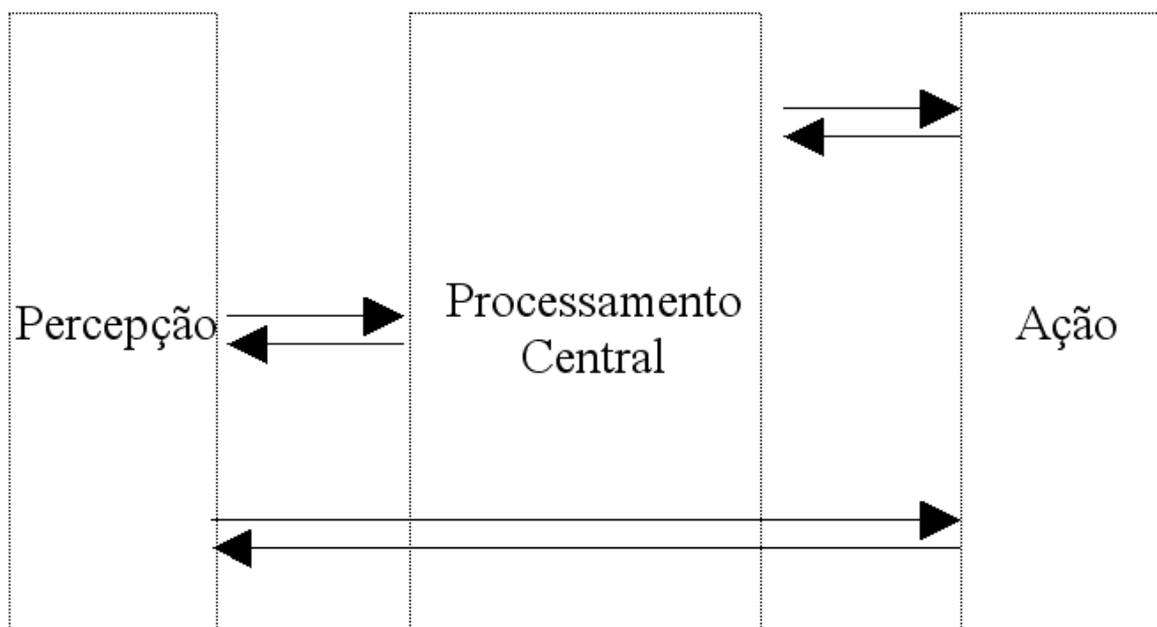


Figura 1 - Modelo de Tripla Torre [adaptado de 32,33]

O segundo modelo a ser combinado com o primeiro se sobreporia a ele na horizontal, em três camadas:

1ª.) Camada Reativa: corresponde aos mecanismos mais primitivos, reflexos, encontrados também em animais evolutivamente inferiores. Trata-se de ações imediatamente disparadas, uma vez detectadas determinadas condições, sejam internas ou externas. São capazes de reconhecimento de padrões e de execução de regras condição-ação, além de outras funções de entrada e saída. São também responsáveis por algumas motivações básicas.

2ª.) Camada Deliberativa: há uma evolução com relação à camada anterior, já que aqui existe o desenvolvimento de capacidades de raciocínio sobre eventos passados, presentes e futuros (raciocínios “e-se”), o que permite opções entre alternativas de ação diante do que é percebido, através de avaliações que levam a rejeições ou a escolha de determinadas ações.

3ª.) Camada de Meta-Administração: monitora, avalia, e até certo ponto controla, os processos que ocorrem no sistema de forma semelhante ao que o sistema observa e age no ambiente.

A Figura 2 mostra um esquema da interação das três camadas, que operam concorrentemente, não formando uma mera hierarquia de dominância.

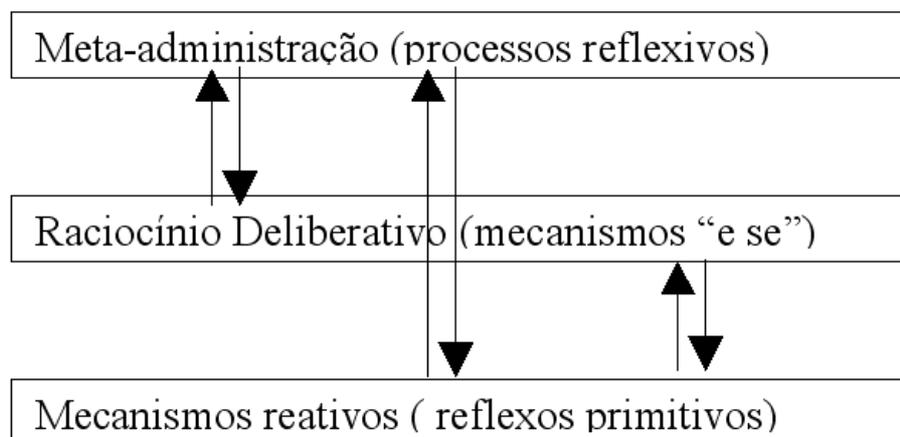


Figura 2 - Modelo de 3 camadas [adaptado de 32,33]

À sobreposição dos dois modelos, vista na Figura 3, Sloman acrescenta um mecanismo de alarme global. Considerando que várias motivações estão ativas num mesmo indivíduo, em um mesmo momento, poderia ocorrer uma situação indesejável de desequilíbrio entre estas motivações que priorizasse aquelas que não fossem as mais urgentes naquele instante. O papel deste alarme global, então, seria o de ser um mecanismo de controle de redirecionamento dos processos para as que as respostas mais urgentes fossem dadas. Este alarme recebe e envia informações para qualquer dos elementos do sistema, podendo, por exemplo, aumentar a intensidade de processamento de uns em detrimento de outros, em função de sua urgência,

dependendo da situação ambiental que esteja sendo detectada. Sloman, entretanto, não entra em maiores detalhes acerca do mecanismo da intervenção a ser feita.

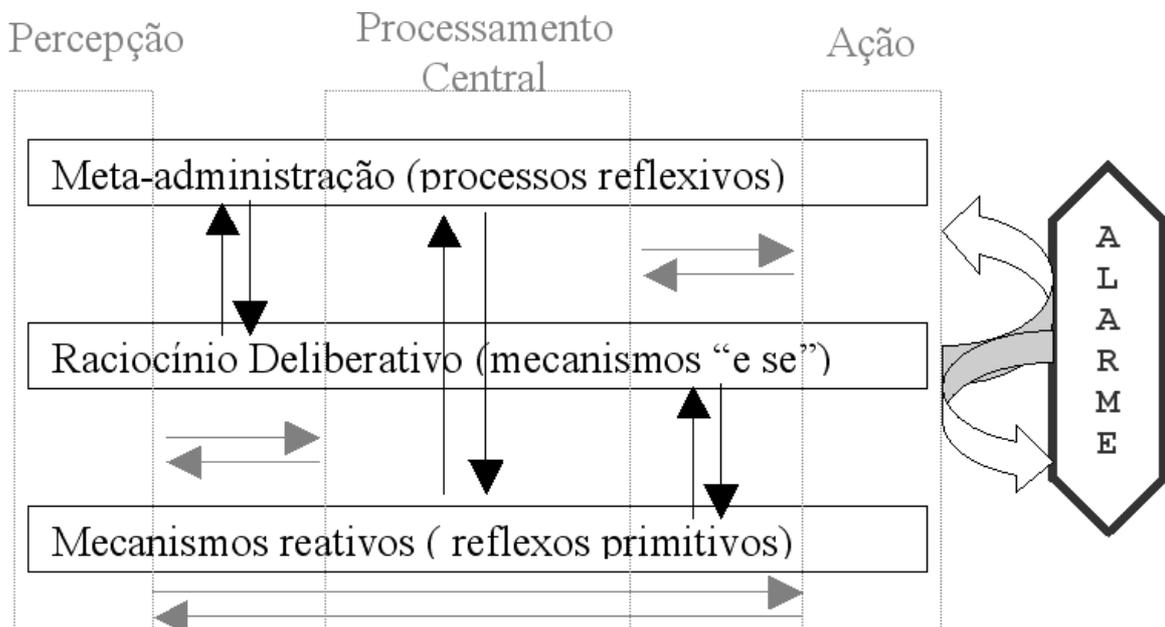


Figura 3 - Arquitetura de Sloman [adaptado de 32,33]

Para Sloman, os processos emotivos também apresentam uma hierarquia semelhante, e estão embutidos em cada uma das camadas, da seguinte forma:

- **Emoções Primárias:** (tais como se assustar, paralisar-se de terror ou excitar-se sexualmente), tem seu suporte no mecanismo de alarme localizado na camada reativa, que está envolvida principalmente com a informação sensorial (interna e externa) e dispara os rápidos mecanismos reativos. Crê-se ser semelhante à atividade do Sistema Límbico em seres Humanos.
- **Emoções Secundárias:** (tais como apreensão, alívio, e outras emoções semanticamente ricas que requerem capacidade de avaliação), resultam principalmente de mecanismos de alarme que avaliam respostas cognitivas internas, ou seja, chances de sucessos de planos arriscado que não estão diretamente ligados ao ambiente percebido.
- **Emoções Terciárias:** (tais como tédio humilhação, antecipação emocionalmente intensa com relação a possíveis eventos futuros). São emoções relacionadas com pensamento e controle de atenção, envolvendo também absorção de cultura e produções intelectuais de

alto nível em geral. São suportadas pela camada de meta-administração.

Assim, para Sloman, os conceitos chave acerca de emoção estão vinculados aos mecanismos de alarme e priorizações. Emoções são vistas como efeitos de mecanismos existentes de controle, que objetivam detectar situações ou motivos que necessitam dar respostas urgentes, ou redirecionar adequadamente os recursos de processamento, em diferentes níveis de abstração. Ou seja, sua função global seria a de avaliação – ou valoração - e de distribuição de recursos (“energias”, por assim dizer), nos diversos níveis da hierarquia cognitiva.

IV.2 A multiplicidade da Mente

STAN FRANKLIN [34] propõe um paradigma para a construção de mentes artificiais que denomina “paradigma da seleção de ação”, e que o autor resume através de sete afirmações fundamentais²:

1^a.) *A tarefa predominante da Mente é produzir a próxima ação – ou seja, o que fazer a seguir, mas ainda considerando que pode se tratar de várias ações contínuas, simultâneas e paralelas. Como consequência, mentes são propriedades de agentes autônomos. As ações são selecionadas, dentre aquelas que sua estrutura permite, a serviço de impulsos (drives) internos ao agente.*

2^a.) *A mente é melhor vista como uma noção contínua (porém não necessariamente linear), em oposição à booleana. Assim, haveria vários graus de mente entre agentes, e não organismos ou agentes que a possuem, ou não. Sua estrutura interna define possibilidades e restrições, tanto dos sentidos, quanto das ações.*

3^a.) *A mente não é monolítica, mas sim um agregado de módulos relativamente independentes entre si. A comunicação entre estes módulos tem que ser limitada porque, com tantos sistemas diferentes, seria impossível para cada um estar em contato com todos os outros, até porque isto não é necessário em todas os casos. Isto, portanto, implica numa estrutura que determina quais dos módulos se intercomunicam. Franklin apóia esta afirmação em autores de áreas como Neurobiologia, Psicologia, Inteligência Artificial, e Filosofia da Mente, tais como Fodor, Ornstein, Minsky, John Jackson, Maes, Brooks, Edelman, Hofstadter e Mitchell, e até mesmo Freud.*

² Os grifos (sublinhados) são nossos, e interessam particularmente à discussão deste trabalho

4ª.) *A mente é capaz de uma multiplicidade de mecanismos díspares.* Ou seja, os módulos diferem entre si, não sendo funcionalmente homogêneos. Cada um terá o seu próprio papel na estrutura geral, isto é, há uma “divisão de trabalho”, cada módulo sendo responsável por uma diferente tarefa, embora esta possa eventualmente ser de propósitos gerais.

5ª.) *A mente opera sobre os dados sensoriais para criar informações para uso próprio.* Apoiando-se, entre outros, em Varela, Franklin sustenta que a seqüência *entrada* → *processamento* → *saída* sugere uma independência entre estes componentes que na verdade não existe. A informação não está lá, dada pelo ambiente. A atividade sensorial implica numa construção da informação através da seleção e integração de alguns dos elementos acessíveis. Esta atividade depende da atividade motora e vice-versa, havendo constante e intensa interação entre elas. Q ue se sente do ambiente (seleção de entrada) depende da ação em curso, que, por sua vez (seleção de intervenção a ser feita no ambiente), depende do que é captado. Além disso, ambas as atividades dependem ainda do conhecimento e do estado interno do agente.

6ª.) *A mente utiliza informações anteriores para produzir ações através de um processo reconstrutivo,* e não de simples busca em elementos armazenados. A memória não é um armazenamento estático, mas uma reconstrução a partir de informações anteriores que auxiliam na produção da ação. Esta afirmação é coerente com a teoria piagetiana da memória [35], embora Franklin não a cite, nem mesmo pareça conhecê-la.

7ª.) *A mente, em algum grau, é implementável em máquinas,* embora não se saiba qual é este grau.

Em suma, a arquitetura da mente deve ter como objetivo dar condições ao personagem implementado em máquina de produzir a próxima ação. Sua estrutura não é monolítica, mas sim um agregado de módulos relativamente independentes entre si, cada um responsável por uma diferente tarefa. Assim, esta produção da ação, a cada momento, é resultado da atuação e das propriedades destes agentes autônomos, a serviço de impulsos internos. Sua estrutura interna é responsável por definir possibilidades e restrições, tanto dos sentidos, quanto das ações. Ambos não são independentes entre si, mas, pelo contrário, a seleção de entrada depende da ação em curso, assim como a seleção de intervenção a ser feita no ambiente depende do que é captado. Além disso, ambas as atividades dependem ainda do

conhecimento e do estado interno do agente. Todo este processo é dinâmico, e se reconstrói a cada momento que busca um resultado.

IV.3 Modelo de Comportamento de Thalmann

IV.3.1 Arquitetura Básica

A equipe de pesquisadores de D. THALMANN [27] e N. THALMANN [26] se dedica a desenvolver atores sintéticos, individuais e em grupo, em todos os seus aspectos, desde os gráficos, expressivos, passando pelos comportamentos individuais e indo aos comportamentos de multidões. A arquitetura de comportamento individual adotada, assunto de interesse do presente trabalho, não está descrita de forma detalhada e explícita em nenhum artigo em particular, mas encontra-se embutida nos diversos trabalhos, cada qual focando um objetivo particular diferente.

A partir destes vários trabalhos, tentaremos recompor esta arquitetura implícita, naquilo que se considera relevante para a presente discussão. As questões se iniciam com as funcionalidades mentais que dão suporte ao comportamento de maneira geral. A questão fundamental é a autonomia do ator sintético: como conseguir um personagem capaz de determinar seu próprio comportamento de maneira a perseguir seus próprios objetivos, segundo suas próprias intenções e emoções? Além desta questão, que foi se refinando com o tempo, acrescentou-se mais uma: como conferir *individualidade* a cada um dos atores, dando-lhes características diferenciadas, específicas?

A estrutura do modelo comportamental em que se baseiam os trabalhos iniciais de THALMANN *et al.* [36] para apresentar a relação entre Percepção e Emoção que ao final produz a ação em um humano virtual é esquematizada na Figura 4. A autonomia depende da capacidade de captar o ambiente e de nele executar ações adequadas a objetivos coerentes com o contexto captado, obviamente. Mas a *credibilidade* que esta autonomia deve ter, junto ao espectador do ator sintético, depende também da capacidade de expressar as emoções correspondentes a todo o processo em curso.

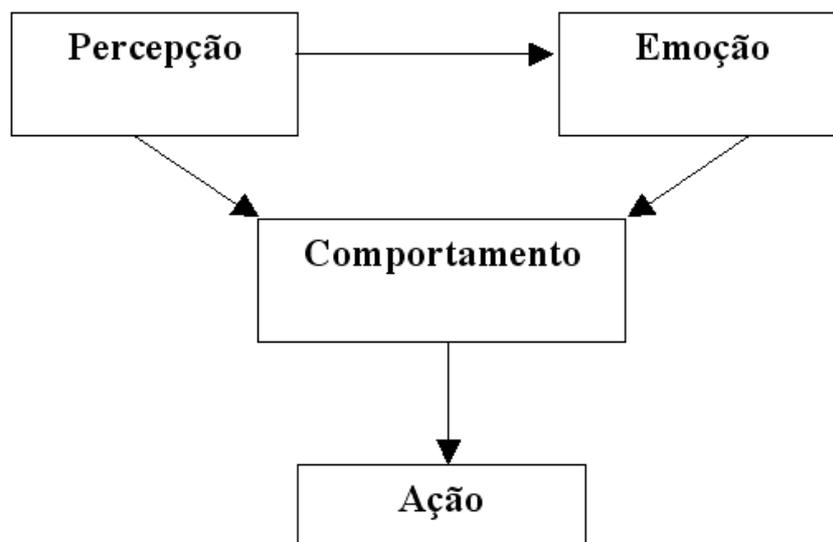


Figura 4 - Modelo Comportamental [36]

Assim, nesta arquitetura, os termos são definidos como se segue:

Percepção: estar ciente (*awareness*) dos elementos do ambiente através de sensação física. Sua implementação em humanos virtuais deve equipá-los de sensores capazes de transformar os objetos detectados em informação sobre sua semântica e sua distância. Mas, além desta percepção dita *de objetos* (incluindo outros atores), deve haver também percepção *de ações* de outros atores e de do que estes fazem com os objetos, ou seja, percepção dita *de eventos*, estes ainda subdivididos em eventos desejáveis, potenciais (que podem ou não ocorrer, e que estarão sujeitos a confirmação posterior), e eventos que ocorrem com outros atores. O resultado da Percepção é sumarizado em três listas: *objetos*, *ações* e *eventos*, esta última subdividida em três classes – desejáveis, em outrem, e potenciais.

Emoção: aspecto afetivo da consciência (*consciousness*), um estado psíquico e físico, que induz a assumir uma expressão facial e corporal característica, ou a escolher determinado comportamento. Uma emoção é uma reação a uma *percepção*. Assim, as classes de emoções são, então, subdivididas da mesma maneira que as de percepções: como reações a *objetos*, *ações* e *eventos*, estes últimos também subdivididos da mesma maneira (*desejáveis*, *em outrem*, e *potenciais*). Cada classe é caracterizada pelas condições de emergência e intensidade afetiva, que eventualmente podem não ser suficientes para desencadear uma reação.

Comportamento: é entendido não apenas como o conjunto de atos realizáveis sobre o ambiente, mas inclui também o fluxo de informação que este retorna como respectivas reações, em termos de como são codificadas pelo personagem. É um conceito de alto nível, descrito de forma hierárquica, decomponível em outros

comportamentos seqüenciais ou paralelos. Cada comportamento de uma seqüência é dito *célula comportamental*. Uma tal célula pode corresponder a outro comportamento ou a um comportamento elementar, situado na base da decomposição hierárquica, e que controla uma ou mais *ações*.

No topo de um comportamento há uma entidade comportamental com um autômato finito composta por no mínimo por uma célula comportamental. Um comportamento de alto nível utiliza entrada sensorial geral e conhecimento especializado. Quando selecionada para execução, o estado de cada um dos comportamentos que são recursivamente executados descendo a hierarquia, é avaliado. Então, para cada comportamento ativo, se houverem ligações inibitórias, elas serão aplicadas, e prossegue-se até a base da hierarquia, atingindo um comportamento elementar. As ações nele encapsuladas são, então, executadas. Neste ponto, gostaríamos de reter a semelhança desta estrutura com a que será discutida no próximo tópico, ou seja, a máquina hierárquica de estados finitos, utilizadas em alguns casos em personagens de games.

Cada ator tem um estado interno que pode mudar a cada passo, segundo a entrada sensorial e o autômato ativo. Para controlar um comportamento global, um ator usa uma pilha de autômato que vai sendo usada para gerar os scripts de ações correspondentes.

Ação: é uma seqüência de animação que pode ter vários graus de complexidade com relação à interação com o ambiente (simples movimentos, atuações sobre objetos, etc.). A animação é conduzida por um ciclo comportamental que permite atualizar a cada passo o estado de cada objeto e ator do mundo virtual. No caso de cada ator, primeiramente é executada a percepção; então suas emoções são geradas antes de seu comportamento, e suas ações são executadas. Em suma:

Repetir

Para cada objeto e ator

Percepção

Para cada ator

Geração de emoção

Para cada objeto e ator

Execução de comportamento

Para cada ator

Execução de ação.

Note-se que o foco aqui é a geração *frame a frame* de animações expressivas. A ação é um resultado final de um processo, mas tanto esta ação quanto a emoção a ela associada estão a serviço da expressividade do personagem. Como veremos a seguir, com o tempo, estes conceitos foram sendo mais aprofundados.

IV.3.2 Modelo Afetivo de Seleção de Ação

Mais recentemente [37, 38], emergiu a preocupação de implementar progressivamente um modelo afetivo de seleção da ação para personagens virtuais, até que estes pudessem desenvolver comportamentos autônomos, adaptáveis e sociáveis. Para tal, os pesquisadores adotaram uma abordagem *bottom-up*, executando primeiramente um modelo motivacional de seleção da ação para obter atores com motivações autônomas. Considera-se que as motivações representam a parte essencialmente *quantitativa* da tomada de decisão, enquanto que as emoções devem ser a fundamentalmente *qualitativa*. Futuramente, os autores pretendem avançar no desenvolvimento de envolvimento sociais entre personagens, tornando mais complexas as interações emocionais. A emoção, então, é considerada como tendo assumido um papel diferenciado. Antes responsável não apenas pelos aspectos expressivos, mas também pela escolha do comportamento, foi elevada a um patamar de qualidade mais alto, mais significativo.

O centro da preocupação é a autonomia. Personagem automotivados tem grande credibilidade e verossimilhança enquanto humanos virtuais. Portanto, é preciso que os personagens possam gerar suas próprias motivações e ser proativos, além de poder reagir a estímulos em tempo real. A proatividade está relacionada à capacidade de comportar-se de maneira a aproveitar oportunidades novas, ou seja de ter comportamentos *oportunistas*. Normalmente, não existe apenas uma motivação autogerada, mesmo que proeminente. (por exemplo, *fome*). Outras concomitantes (digamos *sede*) provavelmente estão ativas, mesmo que com menor intensidade, e tem algum papel na condução do comportamento do ator. Então, alguns elementos devem ser considerados enquanto o personagem se movimenta a determinado local, em busca da resolução de motivações:

→ prioridade de comportamento: no exemplo, a fome é mais relevante;

→ oportunismo: se algum alimento for visto durante o percurso, que este seja interrompido para satisfazer a fome mais rapidamente;

→ ações de compromisso: se o conhecimento que possui da situação em que está lhe permitir satisfazer ambas as motivações (fome e sede) em outro local, que o ator o faça;

→ persistência de histerese: pequenas oscilações de intensidade não sejam suficientes para alterar o percurso;

→ tempo curto de resposta: que a seleção de ação ocorra em tempo real.

Ou seja, o personagem autônomo deve poder tomar suas próprias decisões em tempo real de forma coerente e efetiva. Trata-se de considerar o problema da seleção da ação adequada, a cada ponto no tempo (no sentido de satisfazer a meta atual, ou seja, a necessidade mais urgente), ao mesmo tempo mantendo a atenção às demandas e oportunidades vindas do ambiente, e ainda sem negligenciar a satisfação de outras necessidades de mais longo prazo.

A proposta, então, é de um mecanismo de seleção de ação baseado em motivação. Por ação entenda-se elemento de mais baixo nível do sistema de controle do ambiente do personagem, onde o comportamento se expressa num dado momento. Foram utilizados sistemas classificadores hierárquicos [39] que permitem reduzir o domínio de busca do problema através de regras ponderadas. Este tipo de sistema (Figura 5) pode gerar tanto comportamentos reativos quanto orientado a metas, visto que os dois tipos de regras existem na base de regras: as externas, que enviam ações diretamente aos elementos motores, e internas, que modificam o estado interno do sistema classificador. Isto fornece o contexto interno para a ativação das regras, numa lista de mensagens que podem ser empilhadas e ir sendo enviadas, até que tenham sido direcionadas a ações específicas. Assim, as seqüências de ações podem ser executadas. O número de regras a serem pareadas é reduzido, já que apenas duas condições devem ser satisfeitas na base: a informação ambiental e o contexto interno atual do sistema.

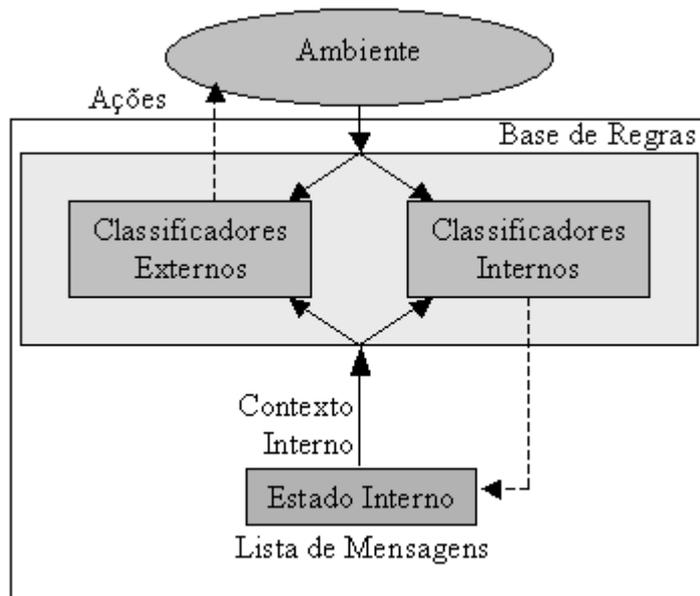


Figura 5 - Sistema Classificador Hierárquico (adaptado de [37])

O tipo de hierarquia adotada nos classificadores é a hierarquia de fluxo livre, considerada a mais interessante para controlar várias motivações num sistema complexo. Neste tipo de fluxo, durante a propagação da atividade na hierarquia, nenhuma decisão é tomada antes que seu nível mais baixo – no caso, o das ações – tenha sido atingido. Só então são realizadas as somas de atividades, e, ao final, o nó mais ativo é escolhido. Como o fluxo de informação é irrestrito, há um aumento da reatividade e da flexibilidade dos sistemas hierárquicos. Além disso, há maior possibilidade de combinações de ações que satisfaçam mais de uma motivação (ações de compromisso) e ações oportunistas (resultantes de entradas externas). Tais funcionalidades são necessárias para selecionar a ação mais apropriada a cada momento.

No modelo motivacional proposto, cada motivação rodará, em paralelo, seu próprio ciclo hierárquico de decisão. A Figura 6 apresenta o ciclo de uma motivação.

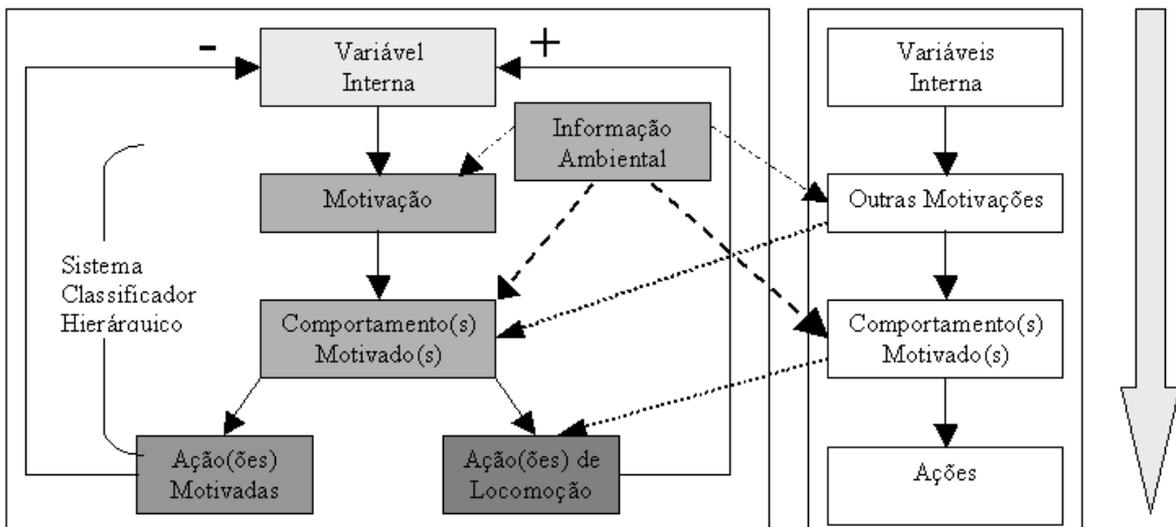


Figura 6 – Um ciclo de decisão hierárquica para uma motivação, conectado com outros grafos de decisão (adaptado de [37]). Seta ↓ indica atividade de cada iteração

Cada iteração contém quatro níveis:

1) **Variável Interna:** representa o estado interno do personagem e evolui de acordo com o efeito das ações. Corresponde a um modelo de evolução não-linear da motivação. Trata-se de um sistema de limiar (Figura 7), específico para cada motivação, que reduz ou aumenta os seus valores a fim de manter a homeostase das variáveis internas. Um dos principais papéis do mecanismo de seleção de ação é mantê-la na zona de conforto através da escolha das ações mais adequadas. Este sistema de limiares pode ser assimilado a graus de atenção, limitando e selecionando a informação para reduzir a complexidade da tarefa de tomada de decisão.

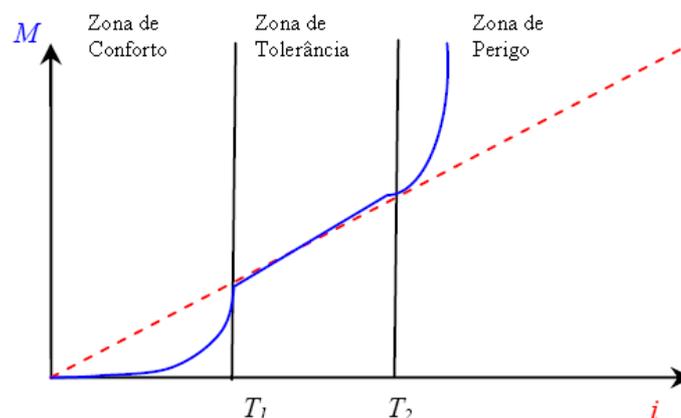


Figura 7 - Avaliação “subjetiva” de uma motivação a partir dos valores da variável interna (adaptado de [37])

A avaliação subjetiva da Motivação é definida como se segue:

$$\begin{cases} M = T_1 e^{(i-T_1)^2} & \text{if } i < T_1 \\ M = i & \text{if } T_1 \leq i \leq T_2 \\ M = \frac{i}{(1-i)^2} & \text{if } i > T_2 \end{cases}$$

onde M é o valor de motivação, T_1 é o primeiro limiar e i é a variável interna.

Se a variável interna se encontrar abaixo do T_1 do ponto inicial (zona do conforto), o personagem não leva a motivação em consideração. Se a variável interna estiver acima do segundo T_2 do ponto inicial (zona de perigo), o valor da motivação está demasiado no que diz respeito a variável interna. Neste caso, a ação correspondente tem mais possibilidade de ser escolhida pelo mecanismo de seleção da ação, para diminuir a variável interna.

2) **Motivação** : é uma abstração correspondente à tendência a comportar-se de maneiras particulares de acordo com informação ambiental, e a histerese. As motivações configuram metas para o personagem satisfazer *variáveis internas*.

Informação Ambiental - há dois tipos que podem afetar as motivações, e que permitem o surgimento de comportamento oportunista:

→ quando o personagem passa próximo a um local específico onde uma motivação pode ser satisfeita, o valor desta motivação (e seu correspondente comportamento orientado a meta) é proporcionalmente aumentado com relação à distância do local. Por exemplo, quando um personagem passa próximo a um bolo e o vê, mesmo que não esteja com fome, sua fome aumenta.

→ quando um personagem vê em seu caminho um local novo e mais próximo onde pode satisfazer sua motivação corrente, o comportamento mais apropriado é interromper dinamicamente seu comportamento dinâmico, e tentar atingir este novo local, desistindo de ir ao que antes pretendia ir.

Histerese: específica para cada motivação, implementada para manter em cada ciclo uma parcela da motivação da iteração precedente, conseqüentemente permitindo a persistência de ações motivadas:

$$M_t = (1 - \alpha) \cdot M_{t-1} + \alpha (M + e_t)$$

onde M_t é o valor de motivação atual, M é a "avaliação subjetiva" da motivação, e_t é a variável ambiental e α o valor de histerese com $0 \leq \alpha \leq 1$.

A histerese mantém a atividade das motivações e das respectivas ações motivadas por um tempo, mesmo que a atividade das variáveis internas diminua.

Certamente, a ação escolhida deve permanecer a mais ativada até que as variáveis internas retornem para sua zona do conforto. A histerese limita o risco de oscilações da seleção da ação entre motivações e permite a persistência de ações motivadas e a coerência na tomada de decisão.

3) **Comportamentos Motivados**: são gerados de acordo com a *informação ambiental* e o *contexto interno* do sistema classificador hierárquico, usado para planejar *seqüências de ações* com a finalidade de atingir metas específicas, quais sejam, a de executar as ações motivadas que satisfazem as *motivações*.

4) **Ações** são separadas em dois tipos:

→ As ações **intermediárias**, freqüentemente de locomoção, são aquelas que conduzem na direção da execução das

→ ações **motivadas**, aquelas que efetivamente podem satisfazer a uma ou mais motivações.

As ações intermediárias aumentam as suas motivações, enquanto as motivadas as diminuem.

Este modelo permite a existência de **comportamentos de compromisso**, quando mais de uma motivação são satisfeitas simultaneamente, em uma mesma ação de compromisso. A atividade desta ação é calculada como se segue:

$$A_c = A_h + \frac{\sum_m \beta A_i}{\sum_n M_i} \cdot A_h$$

Se $A_m \geq S_c$, onde:

A_c é a atividade de ação de compromisso,

A_m é a menor atividade de compromisso,

S_c é o limiar de ativação específica para cada ação de compromisso,

A_h é a maior atividade de comportamentos de compromisso,

β é o fator de compromisso,

A_i é a atividade de cada comportamento i de compromisso,

m é o número de comportamentos de compromisso,

M_i as motivações ,

n é o número de motivações,

Finalmente, depois de realizada toda a propagação do fluxo de atividade até as folhas da hierarquia, ou seja, as ações, aquela ação de maior atividade será a escolhida. Em outras palavras, é somente neste nível, a cada iteração, que se determina a ação a ser executada, embora tenha dependido de todo um processo que levou em consideração fatores internos e externos ao personagem. A maior parte do tempo, a ação recebendo atividade vinda da maior variável interna é a ação mais ativada, e é então escolhida pelo mecanismo de seleção de ação. Como normalmente a motivação correspondente se mantém a maior, o fará até que a variável corrente interna decresça até alcançar a zona de conforto. Mas podem acontecer exceções, tais como quando outras motivações se tornam mais urgentes a satisfazer, ou quando comportamentos oportunistas ocorrem. Nestes casos, o comportamento corrente é interrompido e uma nova seqüência de ações intermediárias é gerada, desviando o comportamento para a satisfação de novas motivações.

IV.4 Personagens de Jogos Computacionais

Existem inúmeros tipos de jogos computacionais, assim como variados tipos de personagens relacionados a eles. Neste trabalho, nos concentraremos naqueles que apresentam comportamentos motivados, de tipo mais complexo, humanóide. São aqueles comumente chamados de **bots**, ou de **NPCs**, de jogos, respectivamente, de FPS (first person shooter- atirador em primeira pessoa), ou RPG (role playing game- jogo de desempenho de papéis).

Embora o comportamento destes personagens seja implementado através do uso de diversas técnicas de Inteligência Artificial, foi sobre técnicas como máquinas de estados finitos, árvores de decisão e sistemas de regras que grande parte do trabalho em jogos se baseou [40]. São técnicas bem conhecidas na disciplina de Inteligência Artificial, e, por sempre terem sido fundamentais para games, são explicadas com bastante clareza nos livros mais conhecidos desta matéria. Seu sucesso deveu-se principalmente pela simplicidade de implementação aliada a um grande número de possibilidades de comportamento que eram capazes de gerar. Evidentemente, com a necessidade crescente de complexidade dos jogos, foi preciso enriquecer esses recursos iniciais, mas eles marcaram até hoje a história do desenvolvimento da utilização de técnicas de Inteligência Artificial em games.

Dada a quantidade considerável de material que potencialmente poderia ser apresentado, nos restringimos a dois modelos que nos pareceram mais interessantes

para a arquitetura que pretendemos desenvolver neste trabalho: a máquina de estado hierárquica [41] e o grafo Motivacional [43].

IV.4.1 Máquina Hierárquica de Estados Finitos

Para que discutir a idéia de Máquina Hierárquica de Estados Finitos, antes introduziremos sucintamente a descrição de Máquina de Estados Finitos.

IV.4.1.1 Máquina de Estados Finitos

Uma máquina de estados é uma estrutura lógica composta por elementos que representam estados, ligados por regras de transição que os mapeiam, e que representam a passagem da máquina de um estado a outro. Formalmente:

Definição: Uma Máquina de Estados Finitos (FSM, ou Finite State Machine) é uma 5-tupla $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, onde

Q é o conjunto finito de estados;

Σ é o conjunto de possíveis dados de entrada;

$\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ é a *função de transição* entre estados;

$q_0 \in Q$ é o estado inicial;

$F \subseteq Q$ é o conjunto de estados finais.

Assim, uma dada FSM inicia-se no estado q_0 . Ao receber uma hipotética entrada $a \in \Sigma$, é-lhe aplicada a função de transição $\delta(q_0, a) = p$, que lhe foi definida. Isso significa dizer que existe uma transição do estado q_0 ao estado p . Para que tal ocorra, é preciso, não apenas que a máquina esteja no estado q_0 , mas também que a entrada a seja lida. Para uma dada seqüência de dados de entrada, a cada iteração, um deles é lido, ocorre a transição de acordo com a função δ , e passa-se ao novo estado. Quando todos os dados de entrada tiverem sido lidos, se a máquina estiver em um estado pertencente ao conjunto F dos estados finais, diz-se que a máquina *aceita* a entrada. Caso contrário, que a *rejeita*.

Graficamente, pode-se apresentar um exemplo de FSM como na Figura 8 .

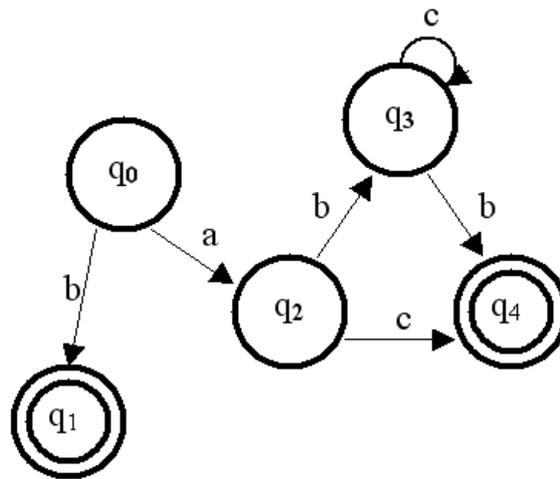


Figura 8 - Exemplo de Máquina de Estados Finitos

Neste exemplo, temos:

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$;

$\Sigma = \{a, b, c\}$;

$q_0 \in Q$ é o estado inicial;

$F = \{q_1, q_4\}$;

E as regras de transições são as seguintes:

$$\delta(q_0, a) = q_2;$$

$$\delta(q_0, b) = q_1;$$

$$\delta(q_2, b) = q_3;$$

$$\delta(q_2, c) = q_4;$$

$$\delta(q_3, c) = q_3;$$

$$\delta(q_3, b) = q_4;$$

Intuitivamente, é fácil perceber que um FSM permite criar as condições de implementar as passagens de estado de uma determinada entidade computacional, dada sua situação atual e o contexto em que se encontra. Sendo assim, é um recurso bastante interessante quando se trata de personagens em games. Afinal, frequentemente se trata de lidar com contextos relativamente bem definidos (“em perigo”, “saúde baixa”, “atacando”, etc.), e ações também simples (“fuga”, “morte”, etc). Ou seja, trata-se de formular um

mecanismo de seleção de ação com base em fatores normalmente “objetivos”, e a FSM é bastante adequada a estas especificações. Uma ressalva interessante a fazer acerca da adaptação das máquinas de estados para personagens de games é o fato de que os *estados* são freqüentemente atribuídos a *ações do personagem*, tais como “atacando um inimigo”, por exemplo, enquanto que as transições são feitas através de *condições do personagem* (p. ex, “saúde baixa”). Neste exemplo, teríamos que um personagem que estivesse no estado “atacando um inimigo” e que recebesse como entrada a condição “sua saúde está baixa” passaria ao estado “fugir”.

Além disso, estados de início e de fim da máquina não importam. Como o personagem existe “eternamente” no jogo (mesmo quando “morre”, porque, via de regra, freqüentemente pode ressuscitar), o ciclo da máquina não se interrompe, e não há aceitação ou rejeição da entrada. Afinal, a adaptação da estrutura computacional para este fim não suscita as mesmas questões que a formulação original.

Para a finalidade do presente trabalho, o que é importante reter é que a estrutura computacional, e a correspondente implementação, permanecem essencialmente as mesmas, não importando a questão das atribuições de significado.

IV.4.1.2 Hierarquia

Apesar da facilidade de representação e de implementação que as máquinas de estados finitos oferecem, à medida que se quiser tornar o comportamento do personagem cada vez mais complexo e flexível, esbarramos na explosão combinatória de estados e transições que a utilização deste recurso acaba por levar. Este problema afeta não somente o desenvolvimento, mas principalmente o processamento em tempo real do comportamento, já que o número de transições a avaliar cresce de forma a levar a uma complexidade incompatível com os recursos computacionais, que ainda devem ser divididos com os demais elementos do ambiente do jogo, num desempenho compatível com o tempo real das ações.

Uma forma de diminuir esta explosão é hierarquizar as máquinas de estado, configurando máquinas aninhadas. As de mais alto nível descrevem os estados em seus elementos mais abstratos. Uma vez atingindo um tal superestado, dispara-se a respectiva máquina de nível mais baixo, que trata dos detalhes daquele estado em particular. Assim, somente neste momento, as correspondentes transições são

tratadas, embora as condições de manutenção neste superestado ainda estejam sendo testadas. Entretanto, evita-se testar, não somente as demais transições de superestados, mas também as transições referentes ao demais subestados que dizem respeito a máquina como um todo, mas não a este superestado em particular.

Por exemplo, se um personagem entra no superestado “atacando o inimigo”, pode disparar uma máquina que detalha formas de ataque como: dada a entrada “inimigo desfere espada”, o estado “estar ereto” passa para “desviar o corpo”, e assim por diante. Uma vez que o personagem não esteja mais lutando com o inimigo, esta máquina de nível mais baixo não precisa mais ser processada, o que diminui o uso de recursos computacionais. Além disso, a modelagem do comportamento fica facilitada por esta construção hierárquica.

IV.4.2 Grafos Motivacionais

Os grafos motivacionais [42] foram desenvolvidos a fim de permitir um melhor controle de motivações conflitantes em personagens de games, resultando em comportamentos mais realistas, especialmente quando:

→ a entidade pode selecionar comportamentos que são compromissos entre motivações conflitantes, e oportunamente deslocam alvos, para dar conta de qualquer evento imprevisto.

→ os comportamentos podem ser hierarquicamente organizados; a entidade pode escolher manter seu comportamento atual quando necessário, usando mecanismos de persistência.

→ a entidade está capacitada a exibir comportamentos emergentes que não estão explicitamente programados.

Grafos motivacionais, em termos estruturais e computacionais, herdam características tanto de sistemas baseados em regras quanto de redes neurais. Trata-se de grafos pelos quais se propaga energia. Entretanto, em vez de ser por neurônios, as forças das conexões são determinadas por conjuntos de regras.

Desta forma, é possível processar várias tarefas e planos em paralelo, já que a ativação é propagada por todo o grafo. Além disso, as regras de decisão são mais simples, pois modelam como a ativação é propagada, em vez de definir como as metas são decompostas. Poucas regras são necessárias para dar ao personagem um comportamento suficientemente complexo, já que seu estado não se define por um único nó, mas por todo o grafo. Por fim, tais sistemas são altamente modulares, o que contribui para a programação de comportamentos complexos sem indesejáveis

explosões combinatórias. Estes módulos tem sua própria autonomia, e podem compartilhar de ações elementares. Por exemplo, na Figura 9, vemos como isso é possível. Ambos os Cursos de Ação podem ser especificados de modo que, tanto o Comportamento 1, comum, quanto a Ação 3, também comum, sejam especificados apenas uma vez.

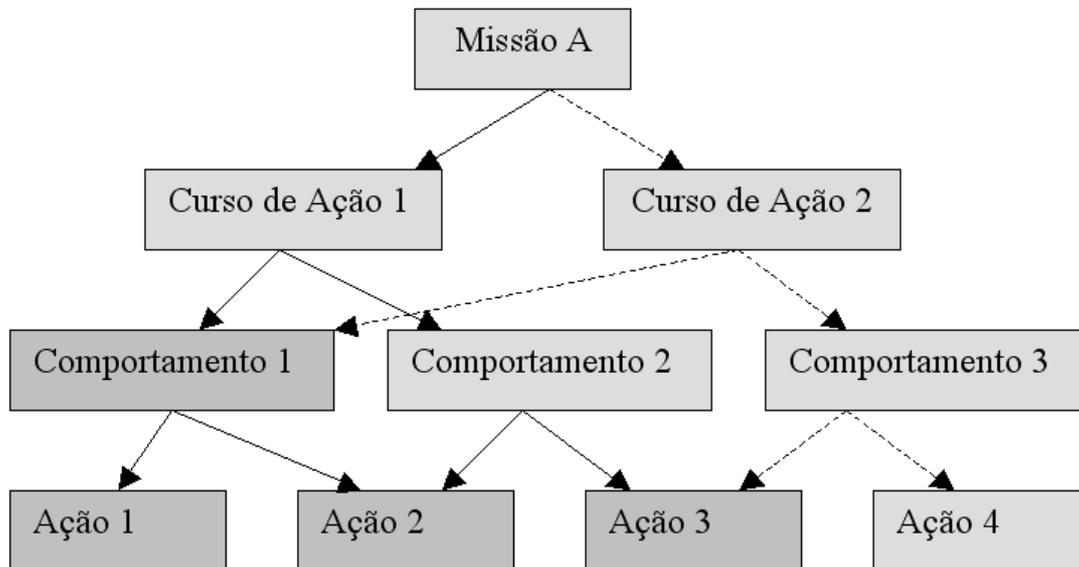


Figura 9 - Exemplo de Grafo Motivacional (adaptado de [42])

Em termos de desenvolvimento do comportamento, a facilidade de acrescentar novos comportamentos pode ser vistos na Figura 10. Se o personagem já apresenta a seqüência de comportamentos C_1 , C_2 e C_3 , e se deseja acrescentar um comportamento reflexo Rf , no caso da máquina de estados finitos, além da programação do próprio comportamento, é preciso acrescentar mais seis regras de transição. Quando se trata de um grafo motivacional, basta implementar uma regra, que competirá com o comportamento relativo à seqüência.

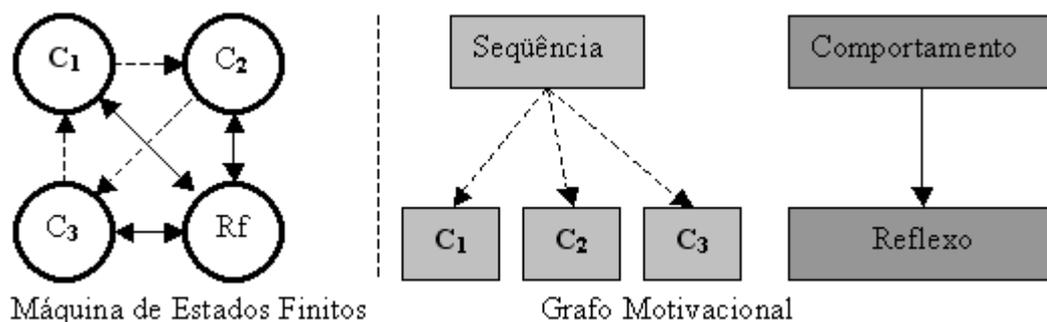


Figura 10 - Comparação entre uma FSM e um grafo motivacional (adaptado de [42])

Um exemplo simplificado, apresentado na Figura 11, apresentado pelos autores [42] ilustra as propriedades do grafo motivacional. Suponha-se um personagem **A** na presença de mais dois personagens, **B** (amigo) e **C** (inimigo). Implementou-se para A as seguintes ações: atacar (*Attack*), evitar (*Avoid*), e ir a (*Go To*), além de ter duas motivações contraditórias: lutar com inimigos (*Fighting enemies*) e salvar-se (*Safeguard*), ambas ativadas pela presença do inimigo. Neste caso, a ativação se propaga para os comportamentos de autoproteção (*Protect_Itself()*), e luta (*Fight()*), respectivamente.

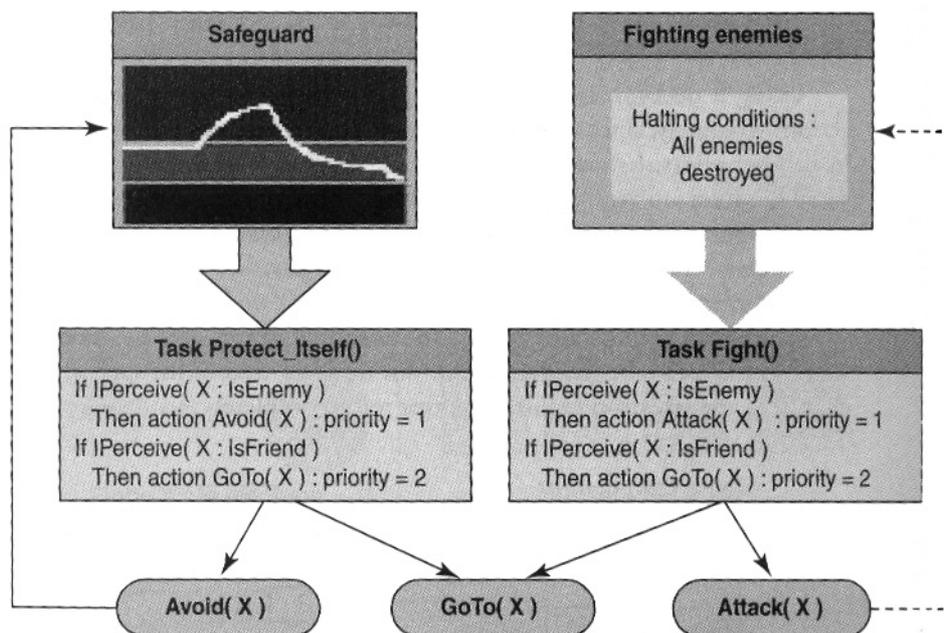


Figura 11 - Grafo Motivacional (reprodução de [42])

Estas tarefas podem então ser decompostas em ações elementares, que serão disparadas quando suas correspondentes condições de regras nos módulos forem ativadas.

Assim, temos: a condição *IPerceive(X:Att)* permite identificar a lista de personagens caracterizados pelo atributo, cujo valor, juntamente com a prioridade da regra definem qual o potencial da ação associada ser escolhida. Para cada comportamento, duas regras serão disparadas para ativar as ações elementares:

→ *Avoid(B)* e *GoTo(C)* para o comportamento *Protect_itself*,

→ *Attack(B)* e *GoTo(C)* para o comportamento *Figth* .

Se o inimigo é percebido como muito forte, a ação *Avoid(B)* terá prioridade muito mais alta, e portanto será escolhida. Inversamente, se for percebido como fraco, será *Attack(B)* a ação escolhida. Caso não aconteça um desequilíbrio tão óbvio, a ação *GoTo(C)* pode vir a ser selecionada por conta do direcionamento da ativação

vinda de ambos os comportamentos, mesmo que sua prioridade não seja a maior em cada um deles isoladamente. Assim, é possível ocorrer, aqui, um comportamento de compromisso, o que não poderia ter ocorrido numa árvore hierárquica de decisão tradicional, que teria escolhido o comportamento de maior prioridade.

IV.5 Análise do Tema

Os modelos apresentados são bastante representativos dos elementos mais fundamentais que se deve abordar quando se pretende desenvolver uma arquitetura computacional do comportamento humanóide. Procuraremos, a seguir, sumarizar estes tópicos, discutindo seus pontos principais e sua função no sistema como um todo.

Primeiramente, há a necessidade de uma **estrutura hierárquica** para o aumento da *eficiência da simulação*, em todos os seus níveis: modelagem, especificação, implementação, processamento em tempo real. A hierarquia permite organizar os módulos funcionais, em todos os seus papéis: de percepção, de estrutura do conhecimento, de motivação, de ação, de emoção, etc. Entretanto, esta hierarquia não pode ser rígida, sob pena de aprisionar o comportamento em atuações mecanizadas, e portanto, pouco verossímeis em um comportamento humanóide. Portanto, ela deve ser combinada a outro mecanismo que lhe dê mobilidade e versatilidade.

Assim, Sloman, por exemplo, além de permitir interações mais flexíveis entre os níveis da hierarquia, propõe sobrepor a ela outro modelo, que a divide funcionalmente em percepção, processamento central e ação. Mas mesmo isso não foi o bastante, e foi preciso acrescentar um mecanismo que ele designa como Mecanismo de Alarme. Este mecanismo, funcionando em todos os níveis da hierarquia inicial, reflete o papel freqüentemente atribuído à Emoção, ou seja, de controle, de detecção de contextos modificadores de respostas e de valoração de alternativas, nos diferentes níveis hierárquicos.

Em segundo lugar, e já apontada no parágrafo anterior, está a importância da **motivação**. De fato, a tendência à explosão combinatória, em muitas técnicas desenvolvidas em Inteligência Artificial, levou à necessidade da inclusão de algum mecanismo valorativo que funcionasse como heurística de poda destas alternativas. No campo da modelagem do comportamento humanóide, este elemento foi identificado, por analogia, à motivação humana, que tende a priorizar algumas opções em detrimento de outras em momentos de escolha.

Assim, as diferentes motivações são assimiladas a variáveis internas sensíveis simultaneamente a estados do “organismo” e ao contexto em que este se encontra. Estas variáveis internas estão inseridas em algum mecanismo de competição entre si, e cada uma delas tem por finalidade disparar comportamentos que definem possíveis alvos para este “organismo” - ou melhor dizendo, entidade computacional. Ao atingir tais alvos, a entidade em questão tem como retorno um processamento que tenta manter a respectiva motivação, ou seja, a variável interna que a representa, num estado “aceitável”, isto é, “satisfazendo a motivação”. Este tem sido o mecanismo utilizado para dinamizar a hierarquia de comportamentos de personagens, buscando torná-los capazes de gerar seus próprios alvos e levar em conta suas próprias necessidades. Daí ser fundamental para sua autonomia e para sua proatividade.

A seguir, cabe enfatizar a função básica do mecanismo computacional de determinação de comportamento humanóide, que é o de **seleção da ação**. A cada momento, a ação mais adequada e verossímil deve ser adotada pelo personagem, expressando escolhas motivadas e interesses individualizados, diante de um contexto mutante. Para que esta verossimilhança seja possível, os comportamentos não podem se apresentar estereotipados, mas devem poder apresentar características, tais como:

→ prioridade de comportamento: uma certa persistência (histerese) na necessidade mais relevante; pequenas oscilações de intensidade não devem ser suficientes para alterar o percurso;

→ oportunismo: se alguma possibilidade nova de satisfazer a prioridade atual, diferente da planejada inicialmente, for percebida durante o comportamento em curso, que este possa ser interrompido para satisfazê-la mais rapidamente;

→ ações de compromisso: se o conhecimento que o personagem possui do contexto atual lhe apresentar formas de satisfazer simultaneamente mais do que apenas a motivação prioritária, então que o faça;

→ tempo curto de resposta: que a seleção de ação ocorra **em tempo real**.

Estes foram os comportamentos que vários dos modelos citados tentaram dar conta, total ou parcialmente. Gostaríamos de acrescentar ainda o interesse que se deve ter em implementar também motivações conflitantes (diferentes, mas excludente) e até mesmo opostas.

Dada a dinamicidade esperada para o comportamento do personagem, em um ambiente que também se pressupõe mutante, a arquitetura mais adequada é aquela que permite **comportamentos emergentes**, ou seja, comportamentos não

explicitamente programados, mas ainda assim adequados ao contexto, e obedecendo às restrições de verossimilhança e plausibilidade.

Em suma, trata-se de produzir **comportamentos emergentes**, através de mecanismos decisórios dinâmicos de **seleção de ação**, que sejam conduzidos por **motivação**, isto é, que levam em consideração o estado interno e o contexto do personagem. A arquitetura deve incluir **estruturas modulares hierárquicas**, porém não rígidas, que permitam um processamento rápido, em **tempo real**.

V Sistemas Multiagentes e Ambientes Virtuais Inteligentes

Como já visto no capítulo “Realidade Virtual”, os ambientes virtuais, mais do que tecnologias de interface, estão se tornando ambientes de simulação, imersivos e interativos, com complexidade crescente. Entidades com possibilidades de autonomia cada vez maior, estão passando a habitar estes ambientes. Assim, a convergência das técnicas de RV com as de Inteligência Artificial e de Vida Artificial permitiram o desenvolvimento do que atualmente são denominados Ambientes Virtuais Inteligentes [43,44]. Trata-se de ambientes mais dinâmicos, nos quais entidades interagem de forma autônoma entre si e com o(s) usuário(s), gerando comportamentos flexíveis e que não são pré-definidos pelo desenvolvedor.

Para a criação e implementação de tais ambientes, uma das técnicas de Inteligência Artificial que se mostrou mais rica foi a de *agentes inteligentes*. Sendo um ambiente composto por diversas entidades, cada uma delas com diferentes graus de autonomia, e com variados níveis de inter-relação, comunicação e interação social, o ambiente virtual inteligente pode ser pensado como um sistema multiagente, sendo os agentes representantes das entidades que o povoam. De fato, esta tem sido a linha preferencialmente adotada pelos pesquisadores desta área.

A seguir, discutiremos o conceito de agente, e, em seguida o de sistemas multiagentes. Será então apresentada uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas multiagentes voltados para realidade, discutindo suas prosperidades e interesses para o presente trabalho.

V.1 Agentes

Embora não tenha uma definição estabelecida de uma vez por todas, o conceito de agente é amplamente utilizado em Inteligência Artificial. Para RUSSELL e NORVIG [45], agentes são aqueles que, na sua relação com o ambiente, *percebem* e *agem*. Assume-se, então, que a conexão que existe entre o agente e o ambiente é a de que o agente realiza *ações* no ambiente (ou seja, modifica seu estado), ações estas determinadas a partir de processamentos de informações (*perceptos*) que este ambiente lhe fornece.

WOOLDRIDGE e JENNINGS [46] propõem uma noção de agente com as seguintes propriedades:

- *autonomia*: ou seja, opera sem intervenção direta de outros, tendo algum tipo de controle sobre suas ações e estado interno; (note-se que isto significa a capacidade de alterar seu próprio estado).

- *capacidade social*: interagem com outros agentes através de algum tipo de comunicação;
- *reatividade*: percebem seu ambiente, e respondem a tempo a suas mudanças;
- *proatividade*: capacidade de iniciativa de exibir comportamento dirigido a metas.

A proatividade só é possível, evidentemente, se houver a possibilidade do estabelecimento de metas próprias, geradas de dentro para fora. Ou seja, intencionalidade. Além disso, pressupõe também a capacidade de atuar sobre seu ambiente.

A Figura 12 e a Figura 13 mostram exemplo de esquemas de agentes [47]. A primeira exemplifica um *agente reativo*, e a segunda, um *agente cognitivo*. Podemos ver que entre o primeiro e o segundo não apenas a complexidade é incrementada, mas também o grau de autonomia, com o acréscimo de elementos individualizadores como objetivos, capacidades, papéis, etc, que permitem um planejamento de ação bem melhor direcionado a metas específicas e coerentes com o contexto.

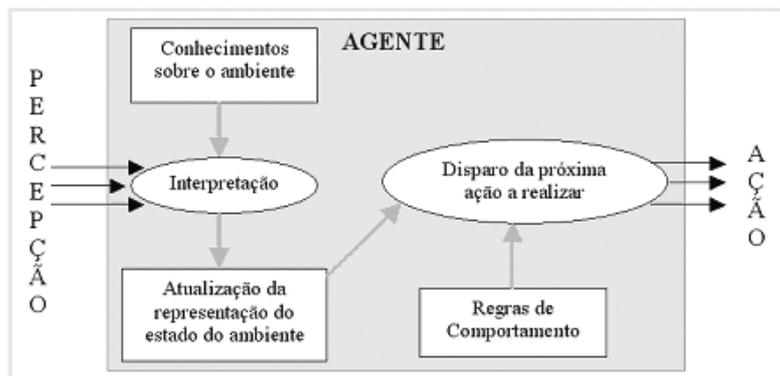


Figura 12 - Exemplo de decomposição de um agente reativo (adaptado de [47])

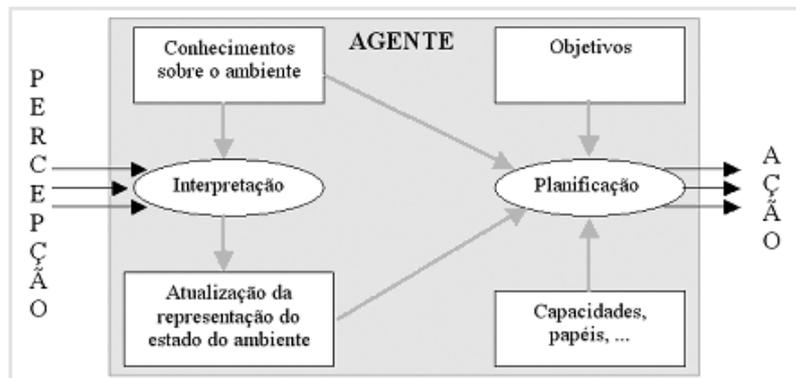


Figura 13 - Exemplo de decomposição de um agente cognitivo (adaptado de [47])

Um agente, portanto, deve ser entendido como uma entidade computacional, que se mantém processando autonomamente, captando informações de seu meio, e nele atuando, como resultado de um contínuo processo decisório de seleção de ação

a partir da percepção. Este processo pode ser desde simples, como um reflexo, até bastante elaborado, como um planejamento baseado em metas, regras e restrições.

V.2 Sistemas Multiagentes

Num sistema povoado por vários agentes – dito sistema multiagente - algumas propriedades se fazem necessárias. Incluir vários agentes em um mesmo sistema faz sentido na medida em que estes possam estabelecer relações e possam se comunicar. Ou seja, apresentar *capacidade social*, como já foi mencionado na noção do tópico anterior.

Tomaremos, então a descrição adotada por MANDIAU e STRUGEON [47] segundo a qual um sistema multiagente é um conjunto de entidades que coordenam seus conhecimentos, suas metas, suas experiências e seus planos para agir ou resolver problemas, incluindo o próprio problema da coordenação dos agentes entre si. Trata-se assim de um mundo artificial povoado por processos interatuantes.

A modelagem de um sistema multiagente pode ser, assim, vista em vários níveis, que do ponto de vista *top-down* pode ser descrito como: desde a visão global, que trata do sistema como um todo, com suas interações com o mundo externo em que se insere; passando pelo ponto de vista social, onde a organização (separação em classes, hierarquia, descrição de relações específicas) é considerada; até ponto de vista local, onde é realizada a descrição dos agentes individualmente.

Uma questão fundamental, portanto, é a questão da coordenação dos agentes entre si. É preciso estabelecer qual a forma de organização sob as quais as relações irão se estabelecer. Uma vez estabelecida esta organização, há que especificar com clareza o papel de cada classe (caso haja diferenças entre os agentes), de modo a conferir, a cada uma, as propriedades necessárias para o cumprimento destes papéis. Além disso, a rede de comunicações necessária a esta organização deve dar conta, não apenas da natureza das mensagens, mas também de que agentes receberão e/ou enviarão para que outros agentes, e quais tipos de mensagens. Em alguns casos, mensagens podem ser enviadas para todos os agentes (*broadcast*), mas é preciso definir quais os agentes que podem fazê-lo.

Sistemas multiagentes, de uma maneira geral, têm inúmeras aplicações, com diversas finalidades. Por conta disso, múltiplas arquiteturas já foram propostas, em incontáveis contextos. Entretanto, uma proposta em particular interessa o presente trabalho, e será apresentada no tópico a seguir. Seu interesse se deve a ser voltado para gerar comportamentos emergentes que possam ser flexíveis e adaptáveis. Além disso, a arquitetura é construída se valendo de analogias com o processamento

cognitivo humano. Por estes dois motivos, interessam ao presente trabalho, já que aqui se pretende propor uma arquitetura de personagem com comportamento emergente e flexível, e principalmente, humanóide.

V.3 Arquitetura de Agentes Compostos

No contexto de sistemas multiagentes, interessa, para os fins do presente trabalho, descrever a proposta designada como *estrutura de software semifluido* [48,49]. Segundo este paradigma, não se trata mais, como se baseou tradicionalmente o desenvolvimento de software, de construir sistemas computacionais baseados em arquiteturas rígidas, com relações fixas e imutáveis entre componentes. O que se busca, ao contrário, é desenvolver sistemas flexíveis, que possam se alterar, embora naturalmente limitado por um conjunto de restrições, mas sempre em íntimo contato com um ambiente dinâmico.

Este tipo de estrutura é essencial para o desenvolvimento e a simulação de *comportamentos emergentes*. Estes são comportamentos que não são pré-definidos e previamente controlados durante a modelagem e a implementação do sistema, mas que surgem como sua consequência, pelo seu próprio funcionamento. Tornam-se necessários quando não é possível prever e/ou descrever todas as possibilidades de estado do ambiente no qual se encontra sistema. Nestes casos, é preciso um projeto que permita respostas adequadas, sem que seja preciso explicitar todos os casos nos quais elas devam ocorrer. Para tal, pretende-se, então que o sistema possa “descobrir” ou “inventar” suas soluções.

Como vimos na descrição de agentes no tópico anterior, cada agente de uma arquitetura multiagente típica:

- 1) capta informações do ambiente,
- 2) as submete a um processamento, e, como resultado,
- 3) interfere no ambiente externo.

A arquitetura proposta [48,49], dentro do paradigma de *estrutura de software semifluido*, é a de um sistema multiagente no qual cada agente é dito *agente composto*, por ser projetado e implementado como uma *combinação de agentes*. A idéia é enriquecer o projeto de um agente, subdividindo-se em agentes reativos e cognitivos, buscando tirar proveito dos pontos fortes de cada um destes tipos, de forma a que suas correspondentes funções dentro do agente de alto nível (o agente composto) sejam desempenhadas de maneira mais efetiva.

Cada agente composto contém dois conjuntos de agentes internos e um ambiente interno (Figura 14). Um destes conjuntos de agentes é o de Agentes Construtores Simbólicos (*Symbolic Constructor Agents - SCAs*) e processa as entradas sensoriais vindas do ambiente externo (*outer environment: E_{outer}*), a fim de gerar o ambiente simbólico interno (*inner environment: E_{inner}*). Cada um dos SCA é definido para captar aspectos específicos do ambiente, além de controlar e filtrar as impressões daí advindas, a fim de que o agente composto não fique sobrecarregado caso esteja num ambiente externo muito rico.

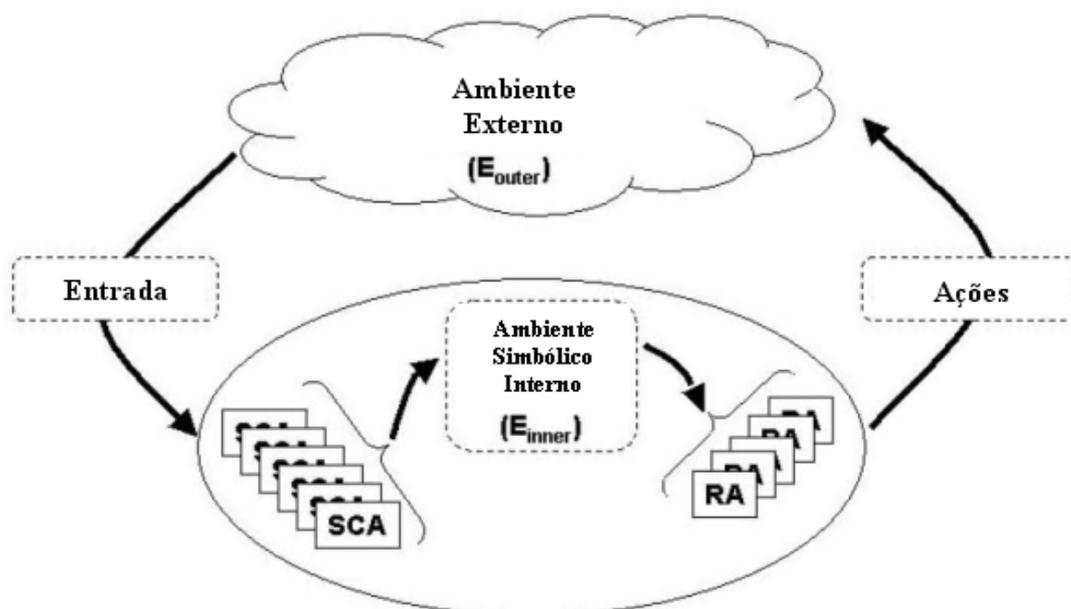


Figura 14 - Agente Composto (adaptado de [49])

Um SCA recebe o estímulo que lhe é designado da maneira que melhor convier ao projeto. Este estímulo é orientado a um determinado domínio. Isto significa que apenas uma classe de estímulos ambientais é captada por um dado SCA. Há também um vínculo estreito entre a arquitetura do SCA e a estrutura do E_{inner} . O processamento pode ser tão simples quanto um reflexo, ou envolver a utilização de interpretações e raciocínios mais complexos. A especificação do estímulo, de como é captado e de como se vincula ao E_{inner} será aquela que for mais adequada para a implementação, não havendo portanto uma estrutura pré-definida. Cada SCA terá a sua, segundo seu domínio e seu propósito.

Por conta disso mesmo, o ambiente interno E_{inner} também terá uma configuração depende da aplicação. Em geral, apresenta variáveis de estado, objetos e *conectores* (a serem descritos mais adiante) e é gerado a partir das saídas dos SCAs. Em suma, isto significa dizer que E_{inner} *não reproduz* E_{outer} , mas representa o

que, naquele momento, está sob a “atenção” do agente composto. É o ponto de vista interno que este tem sobre o contexto em que se encontra.

As variáveis de estado de E_{inner} fornecem uma medida das características do agente que são melhor capturadas através de um valor numérico. Estas variáveis são atualizadas através de SCAs e das ações do agente composto. Os objetos são os elementos representados de forma qualitativa.

O segundo conjunto de agentes internos é o dos agentes reativos (*reactive agents*: RA), cada um deles responsável por promover um comportamento específico do agente composto. Assim, este é o conjunto que define os comportamentos de alto nível que o agente composto pode executar no mundo externo E_{outer} . Entretanto, os RAs o fazem tomando como entrada de processamento elementos vindos do E_{inner} , e não do ambiente externo, como acontece com um agente simples.

Assim, a cada momento, há vários comportamentos competindo pelo foco do agente composto, da mesma forma que um ser humano pode ter, simultaneamente, diversos objetivos que queira atingir. As respectivas prioridades, no entanto, mudam, dependendo do estado e do contexto em que a pessoa se encontra. A idéia da arquitetura proposta é mimetizar estas alterações que um ser humano pode apresentar, incorporando a capacidade de também alternar suas metas prioritárias correntes, em função da situação. Para conseguir isto, os agentes compostos utilizam o controle variável de metas inseridos nos RAs.

Como dito, cada RA é responsável por um comportamento ou papel específico, podendo ter uma ou mais metas para levá-lo adiante. Cada uma delas é definida por 4 componentes:

→ um *estado*, indicando se está ativo, inativo ou atingido, ou algum outro domínio específico de estado;

→ um *método de medida*, que traduz a entrada recebida pelo RA em uma medida quantificável, que informa o quanto a meta está sendo satisfeita, o que permite ajustar os estado segundo o contexto;

→ o *peso*, usado para ajustar a importância ou prioridade da meta;

→ uma *ação* ou *conjunto de ações* para atingir a meta, sob circunstâncias variadas.

Assim, num momento dado, há várias metas competindo entre si, e o farão interpretando o ambiente simbólico interno. Ou seja, prioriza metas e ajusta seus estados baseados no contexto. Desta forma, pode processar a informação que é

relevante, e gerar a ação mais adequada para atingir a(s) meta(s) de maior prioridade. As metas estão em constante mudança, para cima e para baixo, com as do alto dominando o agente e seu comportamento. Metas também podem ser descartadas, quando atingem níveis muito baixos.

A dinâmica do sistema, como um todo, está apoiada no desempenho de elementos denominados *conectores*. O mecanismo para determinar qual o procedimento mais adequado no contexto em curso tem que ser flexível e capaz de suportar o mesmo nível de complexidade que possíveis alterações deste contexto num ambiente dinâmico. Os *conectores* servem para associar elementos do ambiente (seja E_{outer} , seja E_{inner}), impressões, idéias e ações a um dado contexto e atingir uma seqüência lógica de comportamento. São *objetos ativos* que sentem e reagem ao ambiente. São ativados (estendidos) e desativados (retraídos) em função do contexto. Quando conectores são ligados a vários elementos no sistema, sinalizam o estado de prontidão e o nível de adaptabilidade com relação à situação em curso.

Um conector retraído não pode se ligar a nenhum outro conector, somente os estendidos o podem. Quando ocorre uma conexão, e um dos conectores se retrai em seguida, o outro pode se ligar a outro conector estendido. Os conectores podem ser estendidos ou retraídos pelos elementos que os possuem para anunciar ou para requisitar acesso a serviços. Um conector pode ter apenas uma das direções, ou ambas. Além disso, um conector tem uma certa cardinalidade (número de conectores aos quais pode se ligar), mas que pode ser diferente de um para outro.

O conjunto de conectores internos e externos de cada agente composto forma a espinha dorsal de suas comunicações, de sua coordenação e de seu sistema de controle *intra* e *inter* agentes. Ou seja, é o que define suas possibilidades e capacidades, por um lado, e seu papel no sistema global por outro.

Durante o funcionamento de um agente composto, os conectores de SCAs são afetados pelos seus conectores voltados para o exterior, e configuram seus conectores vinculados aos de E_{inner} de forma coerente ao contexto encontrado. De forma semelhante, ocorre a reconfiguração dos conectores dos RAs, que, por seu processamento, geram ações. Estas alteram, por sua vez, tanto o ambiente externo quanto o interno, e assim por diante. Este processo confere, então, a dinâmica do sistema.

Por fim, alguns comentários sobre a inserção de conhecimento. Este é codificado por elementos denominados tíquetes. Seu papel é o de fornecer conhecimento orientado ao procedimento, como suporte para que os agentes reativos

possam considerar o contexto ao determinar os meios de atingir suas metas. São ligados às metas também através de conectores, definindo uma ou mais formas de como atingí-las.

Em suma, os agentes compostos empregam um modelo de “*sense-update-act*” [46], através do qual eles sentem o ambiente, atualizam sua visão interna do ambiente, e então decidem que ação executar. A capacidade de percepção do ambiente é dada pelos agentes internos SCAs e seus conectores que estão estendidos no momento em curso, e que continuamente geram uma representação interna do ambiente (E_{inner}). A partir de E_{inner} , o agente combina uma estrutura dinâmica de metas (os agentes reativos - RAs) com tíquetes que contém conhecimento sobre o contexto, para gerar ações adequadas. A coerência deste ciclo é mantida graças a um sistema de conectores que sinaliza aos elementos do sistema as combinações mais adequadas entre eles, de acordo com o contexto.

V.4 Discussão

O conceito de *estrutura de software semifluido* [48,49] é extremamente oportuno e atual. Particularmente, no que diz respeito à Realidade Virtual, a crescente complexidade das simulações necessárias para o desenvolvimento de Ambientes Virtuais Inteligentes traz à tona a necessidade de arquiteturas que dêem conta da necessidade de implementação de ambientes onde entidades apresentem comportamentos emergentes. Sendo essas entidades, não o sistema como um todo, mas elementos que o povoam, não se trata mais apenas de uma arquitetura para o *sistema em si* que deve suportar comportamentos emergentes, mas também de atribuir esta capacidade às *próprias entidades*. Ou seja, elas próprias se tornam, em si, sistemas de alta complexidade.

Estabelecer agentes compostos e conferir a eles a capacidade de apresentar comportamento emergente, de alterar metas segundo o contexto e flexibilizar-se diante de um ambiente externo dinâmico é, sem dúvida, uma contribuição importante neste movimento evolutivo dos sistemas computacionais. Da mesma forma, também a inspiração em estruturas cognitivas humanas foi uma estratégia interessante de abordar a constituição da arquitetura dos agentes compostos. Afinal, o ser humano é um agente que evoluiu exatamente no sentido da flexibilidade e adaptabilidade a contextos, situações e ambientes os mais diversos, complexos, e freqüentemente inóspitos e hostis.

Apesar de todas estas fundamentais vantagens, a estrutura proposta no trabalho que acabamos de descrever parece ainda pouco intuitiva e assimilável para

ser utilizável por um número variado, e normalmente multidisciplinar, de profissionais envolvidos no desenvolvimento de Ambientes Virtuais Inteligentes. As diferentes fases da engenharia do software pelas quais tais ambientes devem passar são de extrema complexidade, além de difícil compreensão em termos técnicos para aqueles que não estejam profundamente familiarizados com os conceitos envolvidos.

Além disso, a forma de interpretar as funções cognitivas humanas para utilizar como inspiração para a arquitetura talvez não tenha sido a mais proveitosa para os objetivos da abordagem proposta.

Estas questões serão retomadas mais adiante, quando levantaremos outras possibilidades de encarar estes problemas.

VI Arquitetura de Comportamento Motivado de Personagens Virtuais

Uma arquitetura para a modelagem de personagens virtuais deve atender a algumas propriedades que lhe são específicas. Ao contrário do que se espera de um sistema convencional, o comportamento de um personagem virtual não tem que superar, em qualquer aspecto (eficiência e correção, o que for) o que o ser humano faz. Deve, sim, mimetizá-lo. Computacionalmente, entretanto, deve apresentar boa economia de recursos, já que concorre com muitos outros elementos, tanto dele próprio (aspectos gráficos, biomecânicos, etc), quanto do sistema em que se insere (em princípio, ambientes virtuais inteligentes). Além de tudo, trata-se de gerar um comportamento em tempo real. Um comportamento flexível, rico, adaptável ao contexto, e que, por isso mesmo, que normalmente não deve ser pré-programado explicitamente. Em outras palavras, um comportamento emergente de interações complexas entre elementos, que, em seu conjunto, devem buscar refletir as funcionalidades exibidas pelos seres humanos. Estas são, portanto, as duas forças contrárias que uma arquitetura deve tentar conciliar: de um lado, a complexidade de um comportamento emergente com processamento em tempo real, compartilhado com muitos outros elementos também bastante exigentes em termos computacionais.

Mas há ainda outras particularidades no desenvolvimento de um personagem virtual. Mais do que ocorre em outros sistemas, a interação entre profissionais de disciplinas diferentes é bastante intensa. Um personagem é uma construção que envolve muita arte e, se talvez não conhecimentos de psicologia propriamente, certamente uma boa dose de intuição sobre o psiquismo humano. Por outro lado, a técnica e o conhecimento necessários para implementá-lo exigem um conhecimento que, freqüentemente, parecem áridos e obscuros ao artista, e a outros profissionais envolvidos. Mais do que multidisciplinar, a construção de um personagem é *transdisciplinar*. E o tempo de desenvolvimento, como sempre é o caso no desenvolvimento de sistemas, é bastante caro. Um game, por exemplo, tem prazos e orçamento muito justos, e perdas neste processo acarretam grandes prejuízos. Assim, uma arquitetura que torne os conceitos mais intuitivos para ambos os lados certamente é um fator de facilitação da construção de personagens.

Estas questões estão presentes como preocupação do presente trabalho, assim como as características apontadas pelas arquiteturas já apresentadas. A seguir, retomaremos os elementos que foram discutidos nos capítulos anteriores, mas agora visando assentar as bases da arquitetura que será proposta logo em seguida.

VI.1 Conceitos Fundamentais

VI.1.1 Elementos do Comportamento do Personagem Virtual

O comportamento que se pretende humanóide deve incluir elementos que sejam indispensáveis para sua verossimilhança. Em primeiro lugar, para apresentar autonomia e comportamento autogerado, um personagem deve possuir motivações. Por motivações, entendemos o aspecto quantitativo que atribui valor as alternativas de comportamentos, de modo a estabelecer prioridades, e medir seu nível de satisfação. Além disso, para que haja adequação ao contexto, a percepção deve permitir captar este contexto, e, juntamente com o conhecimento acerca dele, estabelecer a atuação coerente com a situação. A seguir, discutiremos estes aspectos separadamente.

VI.1.1.1 Motivação

A energia e a intensidade que intuitivamente associamos às emoções, à atenção, à disposição e à vontade, todas tão típicas do desejo e da paixão, sabemos que poetas e cientistas também já enfatizaram. LURIA [50,51], por exemplo, postulou, em seu modelo de organização cerebral de funções, três unidades funcionais. A primeira delas, que aqui nos interessa mencionar, seria aquela responsável por regular o tônus, a vigília, a atenção. A partir de desequilíbrios internos do organismo, gerados por causas diversas, esta unidade se encarregaria de ativar outras áreas cerebrais que encaminhariam o restabelecimento do equilíbrio, de forma homeostática. Também PIAGET [52,53] considerou que, enquanto as estruturas cognitivas fornecem elementos (conscientes e inconscientes) para a produção inteligente, o afeto fornece sua *energia*. Portanto, a motivação e a emoção atribuem maior - ou menor - força aos diferentes elementos da estrutura cognitiva que estão envolvidos no processamento do conhecimento. Ou seja, o afeto teria então o papel de fornecer valores quantitativos (intensidades) aos múltiplos elementos constitutivos dos processos mentais. No modelo de Luria, este papel corresponderia ao papel da primeira unidade funcional, em seus vários níveis de funcionamento. Finalmente, relembremos FREUD[54], quando este tratava da circulação do que denominou catexia (quantidades de investimento) das representações, o que ainda se pode ver como a distribuição de intensidades entre os diversos elementos psíquicos. PIAGET [55] pondera que, em seu próprio trabalho, não abordou o papel da emoção na cognição – não por considerá-la irrelevante ao tema - mas por ser seu objeto de estudo a *estrutura* cognitiva, considerando mais adequado aos psicanalistas o estudo das *energias* envolvidas nestas estruturas. Em trabalho anterior [56], já defendemos a

plausibilidade cognitiva do papel *ativador* da emoção no processo de tomada de decisão em um provador artificial de teoremas.

A partir disso, o modelo aqui apresentado sugere que o conhecimento possuído pelo personagem, para ser utilizado e ativado, o deva ser por uma *motivação* e com a intenção de satisfazê-la com certo afeto, ou seja, com certa intensidade. Considera-se que esta abordagem, além de conferir maior plausibilidade e credibilidade ao comportamento do personagem, ainda tem a interessante vantagem de diminuir o processamento computacional necessário à tomada de decisão já em seus elementos iniciais. Afinal, somente comportamentos suficientemente motivados serão submetidos ao processo decisório. Voltaremos a este ponto na descrição da arquitetura proposta.

VI.1.1.2 Percepção e Ação

Ação e Percepção, em Inteligência Artificial, são tratadas na maior parte das vezes como independentes em sua especificação e implementação. As arquiteturas apresentadas nos capítulos anteriores se incluem nesta abordagem. Já defendemos [57,58] a importância de considerá-las, não em separado, mas como diferentes aspectos de um processo único.

Uma percepção não se dá fortuitamente, mas sim filtrando o conjunto sensorial total, *para atingir um objetivo* dado pela ação em curso. Por exemplo, se procuramos por uma caneta em um escritório, não olharemos o teto. A busca será feita baseada no conhecimento que temos de onde mais provavelmente se encontram as canetas em um escritório. Além disso, a nossa visão se ajusta às dimensões que esperamos que uma caneta tenha. É mesmo possível que, neste percurso de busca, esbarremos em algo muito maior, como uma cadeira, por exemplo. Simplesmente por *falta de atenção*, ou seja, eliminação do que é irrelevante para nossa intenção.

Por outro lado, uma ação se concretiza quando a percepção do elemento que a permite é alcançada. Uma ação se situa dentro de um contexto percebido, e em função dele. Pegar a caneta encontrada, por exemplo, depende, não apenas de localizá-la (que já depende da visão), mas também de uma série de ajustes de coordenação de visão e tato, que conduzem ao ato de segurá-la e trazê-la para perto do corpo.

Ou seja, percepção e ação atuam em harmonia, trocando informações (*feedbacks* recíprocos), de maneira a atingir uma meta, e de forma subordinada a ela. O andamento correto do processo depende desta coordenação entre os dois processos.

Assim, no modelo apresentado neste trabalho, pretende-se que ambas sejam definidas em conjunto, em função de sua intenção. Esta intenção pode ter dois tipos de fonte, ou uma combinação de ambos:

1º.) fonte interna, a partir do estado do “organismo”, ou de sua disposição. A percepção vem da intensidade interna de uma determinada qualidade do estado deste ser, e a ação vai objetivar amenizar esta intensidade.

2º.) fonte externa, a partir da percepção de algum elemento do ambiente que suscita um comportamento relativo a ele. Este comportamento tende a se transformar, portanto, em ação. Esta ação é regulada pela percepção das conseqüências que causa.

VI.1.1.3 Conhecimento

Como é possível visualizar no modelo horizontal em camadas que SLOMAN [32,33] sobrepõe à torre tripla (vide “O Modelo de Sloman, do Cognition and Affect Group (CogAff)”), a medida em que evolui, *bottom-up*, a complexidade do processo decisório, mais importante se torna o papel do conhecimento. De fato, na camada reativa, ações são disparadas imediatamente, uma vez que determinadas condições (internas ou externas) sejam percebidas. Na camada deliberativa, um raciocínio “e-se” se interpõe entre percepção e ação, gerando alternativas pela avaliação das possibilidades que podem ocorrer. A camada de Meta-Administração monitora e avalia todo o processo, regulando-o. Isto significa que o que é observado e alterado (ou seja o que sofre percepção e ação) é o próprio sistema como um todo.

Em outras palavras, pode-se dizer que o conhecimento configura uma base de elementos que se interpõe entre percepção e ação, de forma a enriquecer suas possibilidades e gerar alternativas mais eficientes. Assim, estes três elementos – percepção, ação e conhecimento - formam uma tríade que atende a um processo cognitivo único, cada vez que atendem a uma mesma determinada meta, ou intenção.

VI.1.2 Propriedades de um Personagem Computacional

VI.1.2.1 Comportamento Emergente

Como já várias vezes foi dito acima, a programação de comportamento que mais se adequa às necessidade da construção de um personagem é aquela que permite o comportamento emergente, por oposição ao comportamento pré-programado. Mas para tal, é preciso que sejam estabelecidos como são os elementos que produzirão este comportamento e suas relações, obedecendo a restrições determinadas. Estes elementos devem dar conta de determinadas funcionalidades

que, numa interação específica com as demais, permita que comportamentos com as características desejadas se produzam.

Vimos, em “A multiplicidade da Mente”, acima, como Franklin defende não apenas que a mente é constituída por módulos, mas ainda que estes são agregados de forma a se manterem relativamente independentes entre si, cada qual responsável por sua própria tarefa.

No caso do comportamento humano, outros pesquisadores e filósofos também já defenderam a modularidade de sua organização, alguns deles citados pelo próprio FRANKLIN [34]. Acrescentaremos a eles o neuropsicólogo LURIA [50,51], que descreveu a organização cerebral das funções superiores como sendo um sistema funcional complexo, que dava suporte à emergência das diversas funcionalidades psíquicas a partir de seu funcionamento em concerto.

Embora a fidelidade às características específicas humanas não seja nosso objetivo, mas apenas sua verossimilhança, parece-nos que esta modularidade é bastante coerente com as necessidades de conciliar a flexibilidade do comportamento com as facilidades de desenvolvimento e implementação e ainda a boa utilização dos recursos computacionais. Consideramos que esta efetividade da organização em módulos independentes deve ser incorporada em nossa proposta, e, mais ainda, que a melhor forma de descrevê-lo é através do conceito de agentes, tal como já discutido acima.

VI.1.2.2 Autonomia e Comportamento autogerado

Espera-se de uma entidade computacional com comportamento humanóide que apresente, assim como acontece com seres humanos, a capacidade de estabelecer as suas próprias metas, de usar seus conhecimentos e crenças para atingi-las, e evidentemente, poder alterná-las segundo seus estados internos e suas conveniências. Seu comportamento deve expressar escolhas motivadas e interesses individualizados, enfim, um ambiente interno capaz de se alterar. Assim, as técnicas de Inteligência Artificial aplicadas aos módulos independentes supracitados devem incluir mecanismos que permitam a emergência destas propriedades. Este é mais um argumento em favor da utilização de *agentes* como os elementos do sistema funcional mais adequados para os propósitos aqui colocados. De fato, mais do que um módulo, ou mesmo que um objeto (no sentido que a engenharia de software tradicional dá a estes termos), um agente tem controle sobre seu *comportamento* [46]. Ou seja, *ele próprio* decide como agir. Pode também gerar comportamentos reativos, proativos e sociais.

Sendo assim, apresentam-se como os blocos de construção ideais para comportamentos autônomos e autogerados.

VI.1.2.3 Capacidade de Adequação ao Contexto

Diante de um contexto mutante, um personagem deve poder adotar a ação mais adequada e verossímil, segundo suas características individuais. Para que esta verossimilhança seja possível, os comportamentos não podem se apresentar estereotipados, mas devem poder apresentar características, tais como:

→ prioridade de comportamento: manter uma certa coerência com o que lhe é mais conveniente;

→ oportunismo: perceber o meio ambiente para interromper o planejamento em curso caso uma oportunidade mais vantajosa surja;

→ comportamentos de compromisso: poder conhecer e adotar comportamentos que permitam conciliar mais do que apenas uma de suas motivações prioritárias, quando isto é possível através da consecução de uma mesma meta;

→ resolução de conflitos: poder escolher entre comportamentos gerados por motivações conflitantes (diferentes, mas excludentes) ou mesmo opostas.

A negociação entre motivações é, portanto, uma propriedade que um personagem deve ser capaz de realizar. Ou seja, esta é uma capacidade social, e como tal, novamente melhor implementada através de agentes.

VI.1.2.4 Construção por Prototipagem

Quando se fala em simulação de comportamentos humanos, não se pretende virtualmente “recriar” este comportamento em sua totalidade, mas apenas computar algumas de suas funcionalidades de forma mais verossímil que os recursos computacionais disponíveis permitirem. O que normalmente determina a necessidade destas funcionalidades, como vimos em “Panorâmica de Aplicações de Personagens Virtuais”, é a finalidade da aplicação. Relembrando, se o que se pretende implementar é, por exemplo, um sistema de rota de fuga em situações ameaçadoras, trata-se de especificar propriedades como medo, solidariedade, etc. Quando se trata de um jogo de ação, a capacidade de identificar as situações de fuga ou de combate é uma das preocupações que o desenvolvedor deve ter.

Entretanto, como se trata de comportamentos emergentes, seria interessante adotar uma arquitetura que facilitasse a especificação progressiva do personagem, especialmente quando a da aplicação apresentar grande complexidade. Por conta

disso, mesmo empregando conceitos intuitivos e que busquem atingir a simplicidade de compreensão por diferentes profissionais, eles devem ser bastante amplos e abstratos, de forma a deixar em aberto a sua futura especificação.

Além disso, também é interessante que a arquitetura facilite a inserção, alteração e a eliminação de características, a fim de facilitar a adaptação melhor possível aos objetivos da equipe desenvolvedora. A construção do personagem por prototipagem parece ser aquela que mais permitiria a avaliação da adequação do comportamento aos referenciais estabelecidos pela equipe, ao longo de todo o processo de desenvolvimento do sistema.

VI.1.2.5 Consumo Reduzido de Recursos: ação em tempo real

Espera-se que o funcionamento da estrutura de um personagem reduza ao mínimo - sem sacrificar as propriedades acima citadas - as alternativas de comportamento. Para tanto, quanto mais inicialmente, no ciclo decisório de seleção da ação, ocorrer a poda de opções, mais eficaz será a heurística adotada. Ao final do ciclo deve restar o menor número possível de possibilidades, se possível apenas uma. Entretanto, para que aconteçam as negociações acima mencionadas, pode ser necessário permitir algum nível de escolha final. A estratégia de montagem hierárquica terá grande importância para o funcionamento desta proposta, pois determinará o percurso de escolhas a realizar, e as possibilidades de negociações que poderão existir entre as alternativas ativas.

VI.2 Personagem como Agente Composto

Vários argumentos já foram levantados até aqui a favor da utilização de agentes como elementos de processamento do comportamento do personagem. O conceito de *estrutura de software semifluido* [48,49], apresentado em "Arquitetura de Agentes Compostos", acima, completa-os, e, ainda mais, sugere uma arquitetura possível. Entretanto, como já foi comentado, tal arquitetura tem uma estrutura dinâmica que não é intuitiva quando se trata de projetar, modelar e implementar comportamentos de um sistema, especialmente se forem humanóides. Mas o que realmente a difere da abordagem adotada no presente trabalho é a organização das funcionalidades cognitivas que estabelece. Como podemos ver na Figura 14 (p.64), o clássica ciclo percepção → processamento central → ação, já presente na Torre Tripla (vide Figura 1, p. 36), se repete, apenas com novas designações: SCAs → E_{inner} → RAs. A dinâmica do agente composto como um todo acontece através de conectores sensíveis ao contexto, e capazes de acionar funcionalidades específicas.

Coerente com o princípio de que a triagem heurística que visa diminuir a explosão de alternativas deve ser o mais precoce possível, são os SCAs que dela são encarregados neste modelo. Esta triagem é satisfatória quando o ponto principal de geração de informação relevante esta na entrada vinda do exterior. Por exemplo, quando se trabalha com segurança da informação [48], a monitoração dos dados externos (funcionando como espécie de radares) é constante e deve ser filtrada realmente neste nível para que o desempenho do sistema seja agilizado.

Ocorre que, no caso de comportamentos humanóides, quando esta triagem é feita no nível da Percepção, é bastante insatisfatória. Afinal, seres humanos estabelecem a relevância em função de todo o contexto – interno e externo. Ora, a percepção é condição para rastreamento do ambiente, o que, utilizado para determinação da relevância de cada elemento candidato se transforma num processo muito custoso. Outro processo que permita um critério anterior eliminatório se faz necessário.

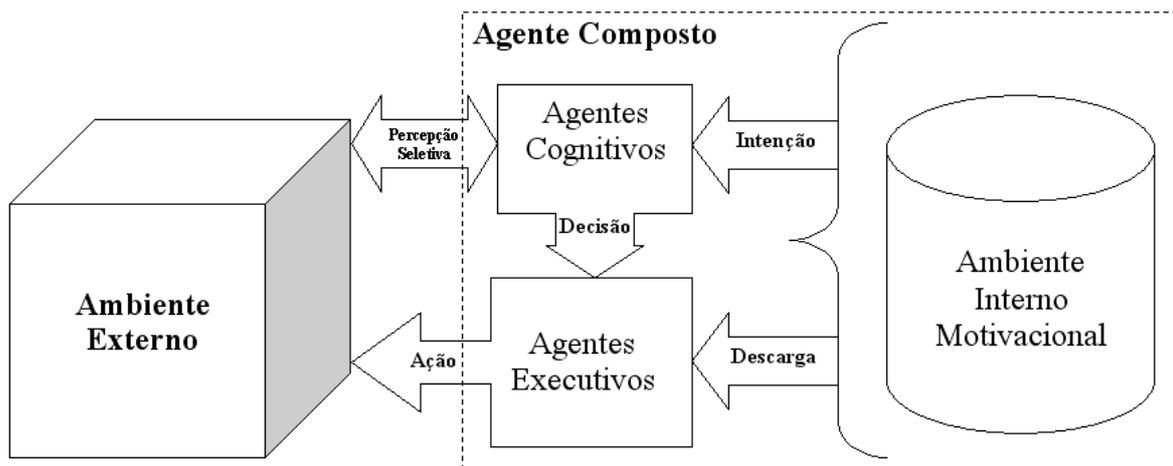


Figura 15 - Arquitetura de Comportamento Motivado do Agente Composto

A arquitetura de comportamento de agente composto que é proposta no presente trabalho está esquematizada na Figura 15. Como apontamos no tópico anterior, nossa abordagem pretende deslocar para a **motivação** o processo de triagem do que é relevante para o personagem em dada circunstância. Os processos cognitivos, cada um deles envolvendo procedimentos de percepção e de seleção de ação específicos para sua própria meta, assumem o papel de *ferramenta* utilizada pelas respectivas motivações para optar pela ação a ser executada para satisfazê-las. Cada motivação é representada por um agente reativo dito *agente motivacional*. O conjunto dos agentes motivacionais é denominado **ambiente motivacional interno**.

Desta forma, num certo sentido, invertemos a proposta originalmente apresentada de agente composto. Ao invés de termos agentes *cognitivos* processando a filtragem de elementos para obter os elementos relevantes, temos agentes *reativos* nesta função. Como são de processamento mais simples, mais rapidamente e efetivamente estabelecem os componentes de maior relevância no momento em curso.

Um agente cognitivo, de processamento mais complexo, somente é ativado quando acionado por uma *intenção* gerada por um agente motivacional, ou, em casos especiais (pré-definidos em separado), por estímulos externos de alta intensidade. *Somente depois de acionado*, realiza a busca no ambiente da informação necessária para seu procedimento de tomada de decisão, que levará à seleção da ação a partir de seu conhecimento específico. Este processo é o que denominamos a **percepção seletiva**. Assim, a *complexidade computacional* do processo global de seleção de ação fica consideravelmente diminuída, já que *apenas alguns* agentes cognitivos selecionados a executam.

Finalmente, os agentes cognitivos ativos decidem acionar determinados agentes executivos, estes também agentes reativos. Se não acontecer de ser apenas um deles o escolhido para ser acionado neste momento, os poucos que provavelmente estiverem ativos competirão pelo acionamento da ação a ser executada. Esta competição, por acontecer após várias etapas seletivas, deve ter muito pouca complexidade computacional. A ação enfim resultante do processo se constitui na exibição da animação correspondente a ela, além de talvez poder envolver a relação com algum objeto do ambiente externo (chutar uma bola, atirar no inimigo, etc.).

Os agentes executivos também podem ser diretamente acionados por agentes motivacionais quando estes últimos chegam a um limite insuportável de contenção, sem ter conseguido qualquer tipo de satisfação. Neste caso, emitem uma descarga, que ativará um agente executivo específico, e este também competirá com os demais ativos no mesmo momento.

Em suma, arquitetura de agente composto que emerge com esta nova abordagem é composta, portanto, de 3 conjuntos de agentes funcionais: agentes motivacionais, agentes cognitivos, e agentes executivos.

Nos tópicos que seguirão, será destalhada a arquitetura apresentada na Figura 15 , e serão descritos os agentes que a compõem com suas respectivas comunicações, com o objetivo de estabelecer a maneira de especificá-los. Antes

porém, é importante um discutir os argumentos que nos levam a considerar o modelo de agentes composto proposto no presente trabalho mais intuitivo do que o apresentado no trabalho descrito na p. 63. Afinal, consideramos esta uma vantagem em termos de projeto, modelagem e desenvolvimento, especialmente no caso de personagens virtuais, essencialmente transdisciplinar.

VI.2.1 Comportamento Motivado: a intuição

Os movimentos corporais que um ser humano realiza, as ações que decide tomar, o olhar que lança para cada ponto no espaço, por mais fortuitos e repentinos que possam parecer, sempre transparecem alguma intenção. Esta intuição já está tão impregnada no pensamento de nossa cultura – e ainda mais depois da contribuição de Freud – que até a pequenos erros já atribuímos motivos implícitos – os atos falhos. Consciente ou inconscientemente, já nos acostumamos a entender em qualquer atitude, mesmo que uma postura estática – uma comunicação de um estado interno do ser que a assume.

O comportamento, então, *expressa* este movimento interno que dá intensidades diferentes a cada decisão, a cada atitude, a cada ação, e mesmo a cada crença e a cada busca no mundo, a cada leitura e percepção do seu entorno.

A arte explora exatamente o aspecto expressivo que toda manifestação humana necessariamente tem. A construção de um personagem, naturalmente, não poderia ser diferente. Para fazer, de um ser computacional, um ser humanóide, o caminho mais intuitivo é partir justamente de suas intenções, de suas motivações, daquilo que o move internamente. Não diferentemente do que provavelmente fazem (conscientemente ou não) os autores de romances, novelas e filmes.

Uma vez definidas as motivações, as crenças, percepções, atitudes e ações associadas a elas fluem de forma natural, de forma coerente com a descrição do personagem. A expressão final fecha a descrição, intuitivamente.

VI.2.2 Agentes Motivacionais

Como ficou claro no que foi exposto, as motivações de um personagem constituem, na proposta do presente trabalho, o mecanismo central da dinâmica do agente composto que o representa. Todas elas disputam continuamente entre si pela maior prioridade.

Cada *motivação* será representada por *um agente reativo*, dito *agente motivacional*. Pelo seu próprio funcionamento autônomo, são os elementos que

permitem que o personagem tome iniciativas, reaja a circunstâncias determinadas, acione seus próprios conhecimentos para buscar a sua satisfação.

A seguir, serão descritas as propriedades de um agente motivacional, base para especificação de qualquer um deles. O mecanismo formado pelo conjunto dos agentes motivacionais – o Ambiente Interno Motivacional - servirá de triagem de possibilidades, visando à poda de alternativas e a conseqüente diminuição de processamento computacional, gerando uma ou poucas intenções a serem perseguidas simultaneamente pelo restante do aparato cognitivo do personagem.

VI.2.2.1 Intenção e Intensidade

As propriedades que basicamente caracterizam um agente motivacional são sua **intenção** e a sua **intensidade**. A **intenção** de um agente é a meta que lhe é atribuída, o que, em última análise, estabelece o foco que deve ter no ambiente, e o conjunto de atos a executar e que permite diminuir sua própria intensidade. A **intensidade**, por sua vez, é a força com este agente impele o personagem no sentido de efetivamente executar tal conjunto de atos. É através desta força que irá competir com outros agentes motivacionais no sentido de determinar qual o comportamento que afinal prevalecerá no personagem.

A *intenção* de cada agente motivacional de um personagem é uma característica estática, pré-definida em função dos objetivos que o personagem cumpre na aplicação. A dinâmica do agente composto fica por conta das interações que os agentes motivacionais estabelecem, entre si e com os demais agentes, e que modificam e transferem, portanto, alteram, as suas *intensidades*. A **variação de intensidades** é a fonte das almejadas flexibilidade e imprevisibilidade do comportamento, já que estas estão vinculadas a esta dinâmica.

A intensidade i_{t+1} de um agente motivacional é dada por

$$i_{t+1} = i_t + m - d$$

onde

i_t : valor corrente da intensidade deste agente;

m : propriedade característica da motivação a que se refere, representa a taxa intrínseca autogerada de crescimento da motivação;

d : desativação motivacional, valor enviado por outro agente interno do agente composto, representa a parcela da intenção que foi alcançada neste ciclo.

O impulso motivacional m deve refletir a *importância* que tem para o personagem a sua respectiva intenção. Algumas motivações ligadas a estados do organismo, como fome, cansaço, sede, etc, tem um crescimento até certo ponto padronizado entre personagens de uma mesma aplicação, já que são variáveis “naturais”. A não ser, é claro, que se queira justamente simular distúrbios destas funções (compulsões, insônias, etc.). Impulsos de natureza mais “psicológica”, ou “social” (solidariedade, ganância, desprezo, compaixão), terão suas taxas de crescimento dadas pela “estrutura de caráter” do personagem, e são pontos dados pela concepção de seu criador. Se a simulação em curso tiver um sentido mais prático, como por exemplo, simular várias pessoas em uma situação de emergência ou de pânico, os valores de m relativos à segurança, à solidariedade, à tendência ao combate da ameaça, etc. podem ser distribuídos entre os personagens, por exemplo, segundo algum critério estatístico.

Note-se que m pode ter valor zero, se representar uma motivação que só pode ser acionada por estímulo externo. Por exemplo, normalmente, uma pessoa se sente segura. Somente uma ameaça externa desativará a segurança, aumentando a intensidade no sentido de retomá-la. Não há porque seu sentimento de segurança se alterar autonomamente, se nada ocorrer em seu ambiente. Assim, nenhum valor intrínseco interno de alteração se justifica. Este é um exemplo de caso onde a fonte da motivação é externa, e voltaremos a nos referir a esta questão mais adiante.

A *desativação motivacional* d corresponde, em grande parte dos casos, à *satisfação* da motivação. Porém, não foi adotado termo satisfação porque nem sempre a diminuição da intensidade corresponde ao que entendemos pela palavra “satisfação”, no senso comum, normalmente associada a uma certa alegria. De fato, a desativação pode corresponder a sensações de desânimo, de fuga, etc., que não são sentimentos agradáveis. Por isto, foi preferida a palavra desativação, mais neutra e precisa.

A desativação é resultado do processo desencadeado pelo acionamento da cadeia de agentes (que pode ter sido apenas um) responsável pela resolução da intenção de um agente motivacional. O ciclo se fecha com o retorno deste valor ao agente motivacional que o originou. Entretanto, a desativação total da intensidade pode não acontecer de uma vez por todas num dado ciclo. Por exemplo, se a fome foi prioritária num dado ciclo motivacional, e levou um personagem a comer uma maçã que encontrou, o surgimento de um urso pode alterar a prioridade no ciclo seguinte para *fuga*, deixando uma fome residual, que continuará crescendo com sua respectiva m , e que será satisfeita quando puder voltar a ser prioritária.

VI.2.2.2 Intervalo de Tolerância

No Modelo Afetivo de Seleção de Ação, em particular na Figura 7, vimos que a variável interna da motivação é situada entre limiares que determinam o seu status. Consideraremos aqui alguns aspectos semelhantes aos da citada abordagem, porém situados de forma diferente

De fato, quando o valor do que denominamos intensidade motivacional estiver abaixo de certo limiar mínimo ***Lmin***, esta motivação deve ser desconsiderada como força impulsionadora de comportamento. Esta é uma zona região em que o agente motivacional, a cada ciclo, apenas reprocessa o valor de i_t , e o testa contra ***Lmin***, até que este último seja superado.

Quando isto ocorre, i_t também é testado contra o valor do limiar Máximo de Tolerância, ***Lmax***. Caso não seja maior que este último, diz-se que i_t se encontra no **Intervalo de Tolerância** (até certo ponto semelhante à zona de tolerância do trabalho citado), quando então se diz estar no *estado competitivo* com os demais agentes motivacionais. Se, nesta competição (que será descrita mais adiante), conseguir passar ao estado *ativado*, aciona o seu correspondente agente cognitivo.

Este é o intervalo de atividade, por assim dizer, *normal*, da motivação. Acima do limiar máximo, consideramos que a situação passa a ser muito tensa, e deve ser tratada de maneira especial, como discutiremos mais adiante.

O intervalo de tolerância de uma motivação em particular pode ser considerado uma característica que permite individualizar personagens. Por exemplo, quanto uma pessoa suporta conter determinado desejo, ou não, isso diz muito a respeito do que se costuma chamar sua “força de vontade”, uma característica que pode ser marcante na concepção de um personagem.

Desta forma, quando se deseja criar um conjunto de personagens com diferentes características, mas sem ter que configurá-los um a um, pode-se utilizar o mesmo conjunto de agentes motivacionais para especificá-los, mas variar as combinações de parâmetros ***m***, ***Lmin*** e ***Lmax*** daqueles agentes que representem características que dêem mais individualidade a cada um. Ao distribuir estas combinações entre os personagens, os comportamentos emergentes farão com que as motivações prioritárias não coincidam em ambientes semelhantes, oferecendo a impressão de estarmos diante de indivíduos com diferentes personalidades.

VI.2.2.3 Procedimento de Descarga

Outro elemento que consideramos potencialmente mais rico do que foi explorado pelo trabalho citado acima, é o que os autores denominaram “zona de perigo”. No trabalho em questão, quando esta região é atingida, a possibilidade de que a motivação vença a competição com as demais é muito aumentada.

Na presente abordagem, cremos que, ao atingir o que preferimos chamar de zona de descarga ($i_t > Lmax$), as conseqüências são mais complexas. Assumimos que, se até este nível, a motivação não conseguiu abrir caminho entre as demais, algum motivo houve. No que diz respeito a motivações, não se deve pensar como se estivéssemos tratando de compartilhamento de recursos em uma rede de computadores. Não há porque garantir que toda motivação seja satisfeita. Frustrações fazem parte da vida humana, e elas devem estar incluídas na “vida” de um personagem plausível, verossímil.

Por isso, a presente abordagem não adota uma vantagem absurdamente acrescida para uma motivação quando ela não consegue ser desativada, parcialmente ou não, antes de atingir o nível máximo.

Entretanto, sabe-se que a frustração leva a outros comportamentos, os comportamentos de descarga, que tentam justamente aliviar a tensão causada pelo excesso de intensidade retida. Esta descarga é bastante expressiva da motivação envolvida e da individualidade do personagem. Pode ser desde um simples roer de unhas, um caminhar de um lado para outro, até um grito de desespero, ou murros na parede. Também pode ser um estado de paralisia catatônica. Várias formas de expressão podem estar previstas para o mesmo personagem, compartilhadas como formas de descargas de vários agentes motivacionais (embora não os mesmos). Faz parte da própria concepção do projeto.

É possível imaginar também o desvio para outros agentes motivacionais. Por exemplo, algumas personalidades obsessivo-compulsivas tendem a desviar ansiedades para comportamentos de limpeza ou outros rituais. Mas estas seriam sofisticções a serem implementadas em futuros desenvolvimentos do modelo. Por enquanto, propomos que, ao atingir o valor de intensidade $i_t = Lmax$, seja disparado o seguinte procedimento:

<p>SE $i_t > Lmax$ ENTÃO { acionar <u>Agente Executivo de Descarga</u>; $i_t = Lmax$; }</p>
--

Este procedimento mantém a motivação ativa, competindo, já que o personagem ainda a possui, mas permite também a expressão da insatisfação que a sua não realização está lhe causando. Este é um procedimento mínimo, que evidentemente, não impede que o projetista o enriqueça com outras possibilidades que considere interessante. Mas é importante notar que ele impede que uma motivação que tenha sido permanentemente bloqueada não cresça indefinidamente. Por exemplo, suponha-se que o personagem tenha fome, e algum obstáculo o impeça de alcançar a comida. O valor da intensidade subiria indefinidamente, impedindo que qualquer outra motivação assumisse o controle, enquanto o personagem propriamente permaneceria inacreditavelmente inexpressivo diante de sua situação desesperadora, tentando inutilmente ultrapassar o intransponível. Totalmente inverossímil.

VI.2.3 Ambiente Interno Motivacional

O ambiente interno motivacional é aqui considerado como o autogerador de intenções de um personagem. Um conjunto de motivações gera estas intenções, a partir basicamente de duas fontes (vide p. 71): interna ou externa. No primeiro caso, a disposição vem do próprio indivíduo, enquanto que no segundo, algum elemento do ambiente externo desperta seu interesse.

Vimos acima que agentes motivacionais com $m = 0$ necessitam de intensidade vinda de fonte externa para que possam funcionar, já que não tem como autogerar sua própria intensidade. Mas somente agentes cognitivos tem acesso ao ambiente externo, por definição, e estes só são acionados por agentes motivacionais. Este ciclo, portanto deve ser quebrado.

Para efeito de uniformidade e elegância, não cremos que seja interessante acrescentar no agente motivacional, um processo perceptivo estranho à sua natureza, pelo simples fato de seu impulso ser zero. Assim, optou-se por criar um tipo especial de agente cognitivo, com a mesma estrutura de qualquer outro de sua classe, mas cujo procedimento perceptivo seja o de monitorar um estímulo determinado que, quando ultrapassasse um valor crítico específico, disparasse seu procedimento decisório, que não necessariamente levaria a uma ação, ou ao acionamento de um agente executivo. Permanece, no entanto, o envio de um valor d ao agente motivacional de impulso zero que é sensível ao seu monitoramento, mas desta vez negativo. Este valor d seria o então um valor $-d$, *ativador*, correspondente ao *valor crítico* do elemento monitorado. Quando inserido na equação da intensidade do referido agente motivacional, esta passaria a um valor positivo que impulsiona o agente cognitivo correspondente à sua intenção. Note-se que este último *não é o*

mesmo que lhe enviou o valor $-d$. Supõe-se que estes casos sejam especiais e particulares dentro da maioria das aplicações que se espera que utilizem a presente arquitetura, o que não desvirtua a essência da proposta.

Um agente motivacional misto também pode ser criado, associado a um agente cognitivo de tipo radar que possa enviar também um valor ativador também para agentes que tenham $m > 0$, aumentando a intensidade com a percepção de elementos estimulantes. Por exemplo, um indivíduo faminto (fome é agente motivacional com $m \neq 0$), ao ver um alimento, tem sua intenção de comer intensificada (por um agente cognitivo radar sensível a comidas).

O importante notar é que as motivações, sendo agentes, são autônomas e independentes. Interagem com seus elementos cognitivos específicos, desde que tenham intensidade suficiente para isso, ou seja, desde que estejam *ativadas*.

Agora então podemos melhor definir o que é o Ambiente Motivacional Interno num dado momento: é o conjunto de agentes motivacionais ativados *naquele momento*.

Como um agente motivacional passa do *estado competitivo* (quando entra no intervalo de tolerância) para o *estado ativado*? É o que será tratado agora.

O critério é, naturalmente, o valor de intensidade. O método mais simples seria o clássico “winner takes all” (wta). Mas dele sairia apenas uma intenção, o que traria várias desvantagens. A primeira delas é supervalorizar pequenas diferenças circunstanciais entre motivações. Além disso, comportamentos de compromisso, oportunistas, concorrentes, opostos, não poderiam mais concorrer daí para frente, já que todo o processo daí pra frente se resumiria a resolver uma única motivação.

Mas então, como eliminar as pequenas diferenças no processo de wta? Comparando-as, não por valor absoluto, mas por *faixa de valor*. No nível de projeto, é definido um valor α , que seria determinante do limite inferior aceitável de comparação para cada intensidade. Para esclarecer as diferenças entre os dois processos, vamos compara-los.

Assim, quando buscamos o “winner”, basta-nos comparar o valor da intensidade do agente motivacional A com a do agente motivacional B. Aquela que for maior, elimina o concorrente. Um procedimento simples para conseguir isso, de complexidade $O(n^2)$ (no pior caso), é fazer com que cada agente motivacional k , que não esteja em estado inativo, envie uma mensagem para os demais n agentes ativos ou em estado competitivo com o seguinte teor:

SE $i_k \geq i_n$

ENTÃO {desative-se neste ciclo}

Onde:

i_k é o valor de intensidade do agente motivacional do remetente;

i_n é o valor de intensidade do agente motivacional do destinatário.

Após um *broadcasting* simultâneo destas mensagens interagentes, apenas um agente, aquele de maior intensidade, estaria ativo. Considerando-se que este processo não ocorre normalmente de forma síncrona (embora dependa da implementação escolhida, é claro), algum erro é possível, mas não relevante, porque estamos tratando de um sistema em que um pequeno nível de imprecisão não é indesejável.

De qualquer forma, o que esta forma de resolver o problema traz de indesejável é um único agente ativo. Para ampliar este resultado, abaixamos o limite inferior de cada um dos agentes quando se compara com os demais, o que permite que mais de um permaneçam ativos após a competição. A mensagem, incluindo α passa a ser:

SE $\alpha i_k \geq i_n$

ENTÃO {desative-se neste ciclo}

Onde:

α valor arbitrário, tal que $0 < \alpha < 1$

i_k é o valor de intensidade do agente motivacional do remetente;

i_n é o valor de intensidade do agente motivacional do destinatário.

Este *broadcasting* tem complexidade computacional equivalente ao anterior, mas resulta em um conjunto de agentes motivacionais com maiores intensidades. Um pequeno exemplo demonstra isso. A Tabela 1 apresenta um exemplo com valores hipotéticos para intensidades de cinco agentes motivacionais, e seus correspondentes valores para $\alpha = 0,9$. O simples exame da tabela permite observar que o maior limite inferior, correspondente ao do agente de número 1, permite manter ativos os agentes de números 1 e 2, com intensidades maiores que este limite, mantendo silenciosos os valores de menor relevância.

Tabela 1 - Exemplo de Competição por Limite Inferior

Agente Motivacional	Intensidade i	Limite inferior ai
1	100	90
2	95	85,5
3	80	72
4	60	54
5	30	27

Os vencedores ativarão seus correspondentes agentes cognitivos, que devolverão à intenção que se realizar o valor d correspondente à parcela de comportamento executado.

Esta solução de permitir que mais de uma intenção, aquelas muito próximas de maior valor, possam continuar competindo, ativando seus agentes cognitivos, possibilita que, caso tenham algum elemento cognitivo comum, eles se intensifiquem e resolvam-se em uma só vez (compromisso), ou que duas motivações fortes continuem lutando, refletindo a hesitação do personagem nas suas ações (comportamento bastante humano). A hierarquia cognitiva ficaria então encarregada de, com os valores de intensidades assumindo papel de prioridades e com as possibilidades de conciliação ou oposição de intenções, chegar à melhor solução. Neste ponto, nos inspiramos nos Grafos Motivacionais (vide p.54), mas desta vez com o uso de agentes cognitivos. Detalharemos melhor este assunto mais abaixo, quando discutirmos agentes cognitivos.

VI.2.4 Agentes Cognitivos

Uma intenção se realiza através da tríade Percepção → Conhecimento → Ação. Mas cada elemento desta tríade deve ser *especificamente* voltado para satisfazer *esta intenção*, da melhor maneira possível. A finalidade de uma determinada intenção é levar o organismo a um estado de *baixa intensidade* da respectiva motivação. Projetar uma motivação obrigatoriamente leva também a projetar suas condições de resolução, e isto é *especificado* em tempo de desenvolvimento e configuração da motivação no personagem. Esta resolução é executada pelo agente cognitivo que é *acionado* pelo agente motivacional quando este se encontra no estado ativado. Quando é acionado, um agente cognitivo passa a ter sua prioridade igual à intensidade do agente motivacional que o acionou.

O agente cognitivo percorre a tríade clássica acima mencionada, mas não *de maneira* clássica. Em primeiro lugar, todo o seu processo se restringe e está subordinado à intenção. Assim, o primeiro momento não é o de observação do ambiente, mas o de um *procedimento de percepção seletiva*, voltado para um processo complexo de busca baseada em conhecimento dos elementos necessários para a resolução da intenção, dentro de um campo perceptivo restringido pelas circunstâncias. Por exemplo, suponhamos que o personagem seja um bombeiro, e esteja examinando ameaças potenciais de fogo em um ambiente caseiro. Fogo baixo, como uma vela acesa, não interessa. Entretanto, um fogo de um nível um pouco mais alto, sim. Mas deve ser testado se não está, por exemplo, em uma lareira, o que o torna irrelevante. Fogo bastante alto interessa incondicionalmente. Note-se que a percepção seletiva é mais do que mera detecção, é mesmo um procedimento decisório. Mas com uma finalidade bem definida, subordinada à intenção.

O conhecimento, já utilizado na primeira etapa, mistura-se também na segunda etapa, a de seleção da ação. A tríade, afinal, transforma-se em díade, com o elemento interno compartilhado pelos demais. O procedimento de tomada de decisão é mais tradicionalmente descrito como necessário para seleção de ação do que ocorre com a percepção. Os princípios são os mesmos: trata-se aqui de analisar o contexto, aplicar o conhecimento para chegar à ação mais adequada.

Assim, cada agente cognitivo ativo em um dado ciclo tende a priorizar uma ação. Para que esta chegue realmente a se expressar no personagem, é preciso que o correspondente agente executivo (vide adiante) seja acionado. Mas antes, é preciso que seja elaborada a combinação das ações candidatas – as ações privilegiadas pelos diferentes agentes cognitivos - de forma que o comportamento mais adequado possa emergir deste processamento.

Para tal, os agentes cognitivos são organizados de maneira semelhante aos já vistos “Grafos Motivacionais” (vide p. 54). A propagação da ativação, aqui representada pela força de prioridade, acontece de agente cognitivo de alto nível para agente acionado por ele. Como podem acontecer situações de confluências, competições, etc. o percurso destas ativações propiciará várias possibilidades de combinações, como comportamentos oportunistas (já que também envolvem os procedimentos de percepção seletiva), comportamentos de compromisso (pela confluência de subtarefas mutuamente reforçadoras, como nos exemplos dados nas Figura 9 e Figura 11), etc.

Adaptando a Figura 9 para a situação de agente cognitivos, transformamos cada curso de ação num agente que responde a uma diferente intenção ativa. O resultado pode ser visto na Figura 16 .

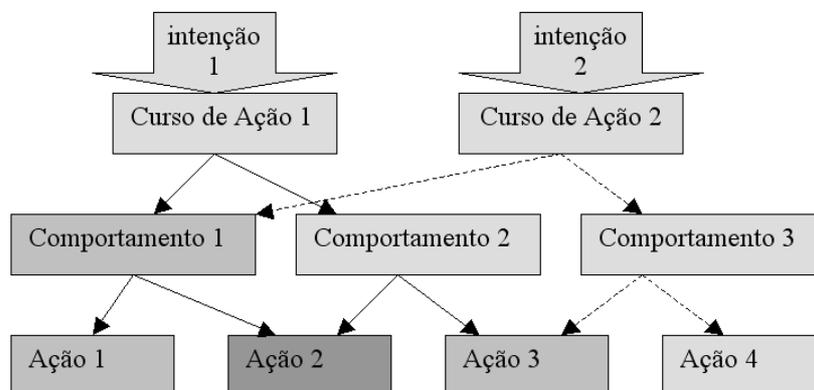


Figura 16 - Exemplo de estrutura de agentes cognitivos a partir de grafo motivacional de [42]

Nesta adaptação, as intensidades são representadas por gradações de cinza, que escurecem a medida em que se somam. A partir de duas intenções de intensidades equivalentes, 1 e 2, a primeira se resolve através de uma conciliação das alternativas de comportamentos 1 e 2, embora o primeiro fosse mais forte, pela escolha da ação 2. As conseqüências destas escolhas podem ou não modificar esta distribuição de forças, dependendo do quanto a ação 2 conseguir satisfazer a intenção 1, ou seja, de que valor d foi retornado para o agente motivacional responsável por esta intenção, e de como afetou sua intensidade.

Portanto, para que este processo de propagação funcione, cada vez que um agente cognitivo aciona outro de mais baixo nível, envia-lhe seu identificador, sua prioridade, e eventuais parâmetros necessários. O identificador do agente cognitivo de alto nível que acionou os de menor nível é importante, pois ao final, *para cada ação que acionar o seu correspondente agente executivo*, seu respectivo agente cognitivo de alto nível deve ser informado, para que possa enviar o correspondente valor d para o agente motivacional que o acionou. A prioridade interessa por ser a força propagada ao longo da hierarquia. E quanto aos parâmetros, eles são necessários apenas em casos particulares de processamentos que necessitam de informações específicas, como classes de objetos envolvidas, obstáculos encontrados, valores de intensidades de determinados estímulos, etc.

A subdivisão de tarefas de alto nível em subtarefas faz com que haja melhor reaproveitamento das tarefas de mais baixo nível. Por exemplo, *buscar_caminho_livre* é uma tarefa comum a qualquer tarefa que exija percorrer algum espaço. Embora em alguns aspectos isto facilite o projeto e a implementação dos elementos vinculados ao

conhecimento, no caso da arquitetura de comportamento motivado que é aqui proposta, exige cuidados especiais no processo de prototipagem. Isto porque, a cada motivação que é modelada e acrescentada ao protótipo, a estrutura cognitiva que lhe corresponde deve ser desdobrada e cuidadosamente checada com relação à já existente. É preciso verificar se é possível compartilhá-la com os conhecimentos já presentes no personagem. Isto, naturalmente é um inconveniente, já que representa um certo trabalho adicional. No entanto, se não for feito, o personagem também funcionará, embora talvez não da melhor maneira, ou da maneira mais interessante, ou efetiva.

VI.2.5 Agentes Executivos

Chegamos ao ponto em que todo o processamento finalmente se manifesta em comportamento visível. Os responsáveis por isso são os *agentes executivos*. O conjunto destes agentes forma a biblioteca de possibilidades de ação do personagem, com suas correspondentes animações e interações com o meio ambiente. São os agentes mais simples do agente composto. Completamente reflexos, uma vez acionados por um agente cognitivo, disparam uma animação correspondente a um ciclo de execução. Cabe ao agente cognitivo que o aciona o cálculo e o envio do valor *d* ao agente motivacional cuja intenção a ação executada resolve. A atuação de um agente executivo pode ser concomitante com a de outro, se não forem excludentes. Por exemplo, um personagem pode jogar uma bola com as mãos, quer esteja andando, quer esteja parado. Se o personagem tiver sido projetado para que a parte superior e a inferior do corpo possam ter comportamentos independentes, isto é possível. Novamente, estamos falando de questões que dependem de *projeto*, de *concepção* do personagem e de sua *atuação* dentro da aplicação.

Entretanto, se dois agentes executivos forem excludentes, devem enviar mensagens inibitórias recíprocas com intensidade igual a que receberam em seu acionamento. Assim, somente a mais intensa será ativada.

VII Arquitetura do Comportamento Motivado: Exemplo de Aplicação

VII.1 Dificuldades de validação

Uma arquitetura para a modelagem de comportamento de personagens virtuais deve atender a algumas propriedades que lhe são particulares. Ao contrário do que se espera de um sistema convencional, não há um comportamento ótimo a ser alcançado, com o máximo de correção e proximidade da melhor solução. Afinal, não há, propriamente, uma “melhor solução” quando se trata de apresentar um comportamento humanóide verossímil. Várias possibilidades são igualmente aceitáveis. Pelo contrário, um certo nível de “erros” ou hesitações, são até certo ponto desejáveis, visto que fazem parte da maneira normal de uma pessoa se conduzir.

Além dos muitos elementos subjetivos envolvidos, existem as variações devidas aos múltiplos objetivos possíveis para variadas aplicações diferentes. Comportamentos voltados para simulações com objetivos mais técnicos, como avaliações de situações de pânico, ou de testes de sinalização que envolvam atenção de personagem que circulem em algum ambiente dado, etc. devem especificar claramente as variáveis psicológicas adotadas, e as formas de relacioná-las.

Por outro lado, quando se trata de concepções artísticas de construção de personagem, cremos ser importante permitir que seja intuitiva a forma de estabelecimento das características psicológicas que o autor pretende imprimir no caráter de sua criatura.

Considerando-se estas questões, um dos critérios de avaliação utilizados foi o da clareza de utilização, para que criadores, projetistas, e avaliadores de implementações tenham facilidade de acesso aos elementos utilizados para a construção do(s) personagem(ns) nelas utilizado(s).

Quanto à questão da eficiência e a correção computacional, ela dependerá de como for utilizada a modelagem em cada implementação. Entretanto, a favor da arquitetura aqui apresentada, argumentamos ao longo de cada apresentação de suas propriedades e características o quanto elas representam melhoramentos de outros modelos que já estão em uso, não somente em laboratórios de pesquisa, mas até mesmo no mercado.

A seguir, apresentaremos exemplos que servirão de estudos de caso e de demonstração da aplicação da arquitetura proposta. Além disso, pretendemos que sejam também exemplos da intuitividade de sua utilização.

VII.2 O Medo e Situação Ameaçadora

As situações perigosas são muito comuns em muitas utilizações de personagens virtuais. Na ficção, as situações de suspense e conflito, onde personagens se encontram em risco são extremamente freqüentes e muitas vezes importantes para incrementar a emoção do enredo. Mas além disso, personagens em pânico são importantes também para testar a segurança de situações, de procedimentos, ou de ambientes, em caso de acidentes ou de atentados, por exemplo. Além disso, a situação de pânico permite que se implemente, sem muita complexidade, uma certa variedade de alternativas de comportamento, como por exemplo: reflexo (susto, choque), escolha de curso de ação (fuga ou tentativa de confronto com a ameaça), conflitos (salvamento de si ou de outros, ou tentativa de compromisso de ambos). Assim, consideramos um exemplo interessante para apresentar as potencialidades da arquitetura de multiagente de comportamento motivado, apresentada no presente trabalho.

Em princípio, qualquer situação ameaçadora por ter como base um agente motivacional cuja intenção é **Segurança**, e é especificado como se segue:

<p>Agente Motivacional Segurança</p> <p>Intenção: segurança</p> <p>Impulso Motivacional: $m = 0$; // em condições normais não há ameaça</p> <p>Intensidade: $i_{t+1} = i_t + m - d_t$; // d_t é o somatório das d de cada ameaça em curso</p> <p>Intervalo de Tolerância: $L_{min}; L_{max}$</p> <p>Agente Cognitivo acionado: Proteção;</p> <p>Procedimento de Descarga:</p> <pre> SE ($i_t > L_{max}$) ENTÃO { aciona Agente Executivo de Descarga: Pânico; $i_t = L_{max}$; } </pre>

Figura 17 - Especificação de Agente Motivacional Segurança

Este agente motivacional é único para toda e qualquer ameaça. O seu valor d é gerado pelo Agente Cognitivo de **Alerta** como um valor negativo, que, ao ser somado às demais ameaças e inserido no cálculo da intensidade da intenção de segurança, lhe aumenta o valor. O Agente Cognitivo acionado **Proteção**, ao gerar ações protetoras, não precisa retornar outros valores de d , já que sua própria atuação diminui a(s) ameaça(s), e conseqüentemente os valores d que estão aumentando a intenção de segurança. A diminuição da intensidade é, portanto, automática, sem necessidade de sinalização explícita de sua resolução.

Note-se que se a intenção de segurança ficar demasiadamente intensa, a excessiva tensão leva naturalmente ao pânico, que, mesmo não diminuindo a intenção de segurança, tende a ser se manifestar de alguma forma expressiva prevista através da atuação do agente executivo **Pânico**.

O primeiro agente cognitivo envolvido, portanto, é de tipo radar, e é aquele que representa **Alerta** de Ameaça. Especifica-se da seguinte maneira:

```

Agente Cognitivo Alerta
Meta: Alerta;
Acionamento: autônomo, contínuo, independente de prioridade ;
Procedimento de percepção:
    Para cada Ameaça em Ameaça[n]
        Buscar Ameaça.i no alcance de percepção atual;
        // Ameaça[n] = lista definida, contida no conhecimento do agente
        // Ameaça.i = intensidade da ameaça
    Procedimento de Tomada de Decisão:
        SE Ameaça.i >  $i_s$ 
        ENTÃO
            {
                d =  $i_s - i$ 
                Enviar para d agente motivacional Segurança;
                Enviar para d agente cognitivo Proteção;
                Aciona o Agente Executivo Susto, escolhido segundo periculosidade d;
            }
        //  $i_s$ : intensidade mínima de segurança
  
```

Figura 18 - Especificação de Agente Cognitivo Alerta

Este Agente Cognitivo está preparado para detectar qualquer Ameaça que esteja declarada em sua lista, que faz parte de seu conhecimento. A **Ameaça** em questão, quando detectada, terá uma medida de sua periculosidade, **d**, que é o quanto ultrapassa a intensidade de segurança. Esta medida será enviada para o agente motivacional **Segurança**. Sendo $i > i_s$, isto significa que **d** terá um valor negativo que, portanto, quando inserido na equação de intensidade da intenção de segurança, a aumentará. Caso esta periculosidade esteja alta, o agente motivacional terá alta competitividade para até mesmo interromper outras atividades que estejam em curso, e levar o indivíduo a proteger-se. Além disso, um agente executivo reflexo **Susto**, selecionado para expressar a periculosidade dada por **d**, será disparado, para expressar o Alerta.

O agente cognitivo **Proteção**, acionado pelo agente motivacional de Segurança, é a raiz de uma hierarquia que pode eventualmente ter que lidar com mais

de uma ameaça. Cada vez que o agente soma as ameaças em curso, o mesmo ocorre com agente cognitivo **Proteção**, que propaga a ativação resultante por sua hierarquia de modo a escolher o melhor curso de ação.

Isto significa ter que escolher a solução que melhor resolve a situação de perigo. Em situações de múltiplas ameaças, o normal é que haja comportamentos comuns, como fuga, por exemplo. Talvez um desses comportamentos compartilhados se revele a melhor solução de compromisso no caso em curso.

VII.2.1 O Agente Cognitivo Proteção e sua Hierarquia

Sendo o Agente Cognitivo Proteção a Raiz de uma Hierarquia, ele é especificado de modo a acionar os diferentes cursos de ação correspondentes a periculosidade da situação ameaçadora em curso, dada pelo valor d_t que recebe. O Agente Cognitivo Proteção, então, é especificado como se segue:

<p><u>Agente Cognitivo Proteção</u></p> <p>Meta: Proteção;</p> <p><u>Acionamento:</u> acionado por Agente Motivacional Segurança;</p> <p><u>Procedimento de percepção:</u></p> <p style="padding-left: 40px;">Recebimento de d_t do Agente Motivacional Segurança;</p> <p><u>Procedimento de Tomada de Decisão:</u></p> <p style="padding-left: 40px;">Caso:</p> <p style="padding-left: 40px;">d_t : em [d_0, d_1] , Acionar Agente Cognitivo Confronto;</p> <p style="padding-left: 40px;">d_t : em [d_1, d_2] , Acionar Agente Cognitivo Fuga;</p>

Figura 19 - - Especificação de Agente Cognitivo Proteção

O Comportamento escolhido dependerá da periculosidade d_t . Os parâmetros d_0 e d_1 dependem do projeto, e, na verdade, determinam características individuais importantes ao personagem. O valor d_1 , em particular, define o nível de “coragem” deste personagem, ou seja, qual o nível de periculosidade ele está disposto a encarar, e de qual prefere fugir. Além disso, embora não tenha sido especificada explicitamente, uma motivação intensa que tenha origem interna (fome, cansaço), deve poder afetar o valor d_t de forma a que seja avaliado segundo as possibilidades circunstanciais do indivíduo no momento em que encara o perigo. Para isso, basta acrescentar, em seu procedimento de Percepção, a capacidade de receber mensagens das motivações de origem interna que forem implementadas no personagem em questão.

A hierarquia de Proteção pode ser esquematizada como na Figura 20.

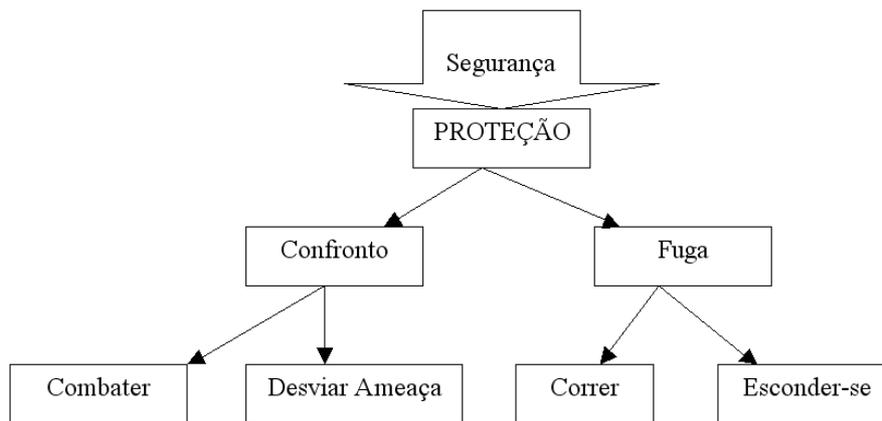


Figura 20 - Hierarquia cognitiva de Proteção

Cada um dos Agentes Cognitivos subordinados tem sua própria especificação, e podem ser descritas de forma bastante semelhante ao da de seu agente cognitivo ancestral, como podemos ver:

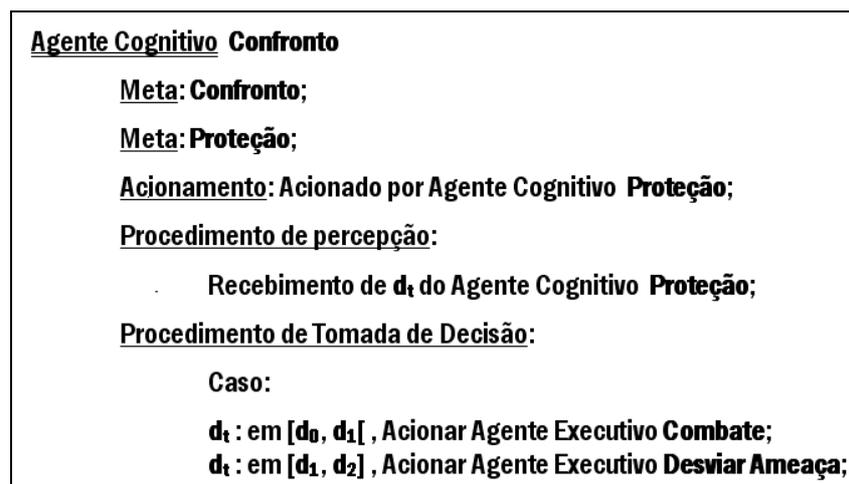


Figura 21 - - Especificação de Agente Cognitivo Confronto

Procedimento em caso de confronto é uma subdivisão do valor de periculosidade. A variável interna já foi levada em conta no ancestral, e aqui trata-se de avaliar a periculosidade para decidir o quanto compensa aproximar-se da ameaça para combatê-la, ou, alternativamente, é melhor não se aproximar, mas, pelo contrário, fazer com que o perigo se afaste, induzi-o a isto de alguma forma. Dependendo do nível de complexidade da situação, talvez fosse necessário mais um nível de agente cognitivo que incluísse o conhecimento de como fazer isso, antes de acionar o agente executivo. Consideramos que, para efeito de exemplo, seria redundante nos alongarmos nestes detalhamentos.

Vamos então à segunda opção, a Fuga:

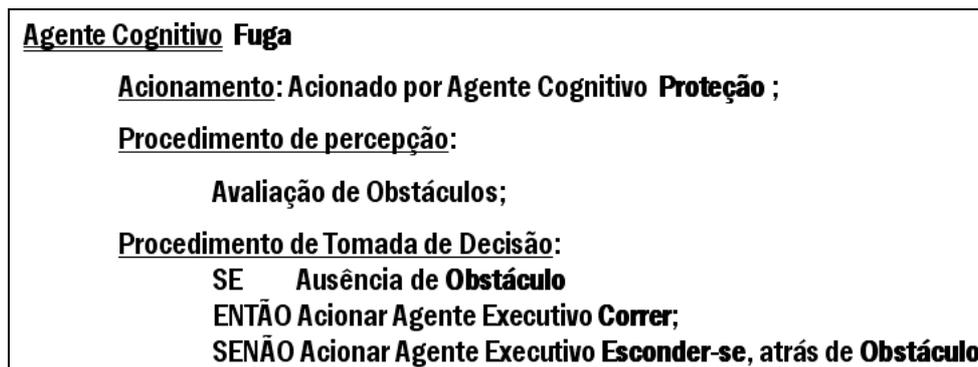


Figura 22 - - Especificação de Agente Cognitivo Fuga

A fuga, último recurso, depende do ambiente e dos obstáculos, e é com ele que os personagens deve lidar. A especificação é auto-explicativa.

VII.2.2 Situação de Conflito: a solidariedade

Para ilustrar uma situação de conflito, incluímos a possibilidade de que o personagem, numa intenção de solidariedade, se veja diante do dilema de salvar-se e ajudar outro em perigo. Para implementar esta possibilidade, é preciso que haja no personagem a motivação de solidariedade, que especificaremos assim:

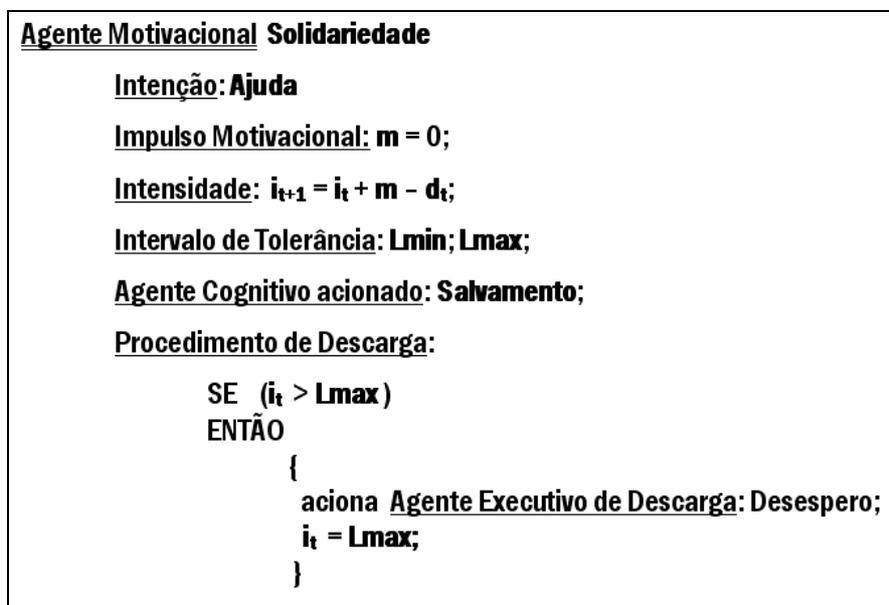


Figura 23 - - Especificação de Agente Motivacional Solidariedade

Como podemos ver, a especificação é bastante semelhante à de segurança. É compreensível que seja, já que a situação é realmente semelhante. Trata-se ainda de ameaça. Não mais a si próprio, mas a outrem, com quem o personagem se identifica. Desta forma, todos os elementos terão especificações bastante semelhantes, sendo que o objeto da ameaça agora não é mais o próprio personagem. Deve haver um

agente cognitivo de tipo radar que Alerta o perigo que outro personagem está correndo. Deve-se acrescentar mais um parâmetro, entretanto, que corresponderia à avaliação do estado daquele que corre perigo, que entraria como elemento de avaliação para seleção da ação. No mais, teríamos uma hierarquia semelhante à de Proteção, mas que agora será de Salvamento, com uma especificação de estrutura análoga. A interação de ambas está esquematizada na Figura 24.

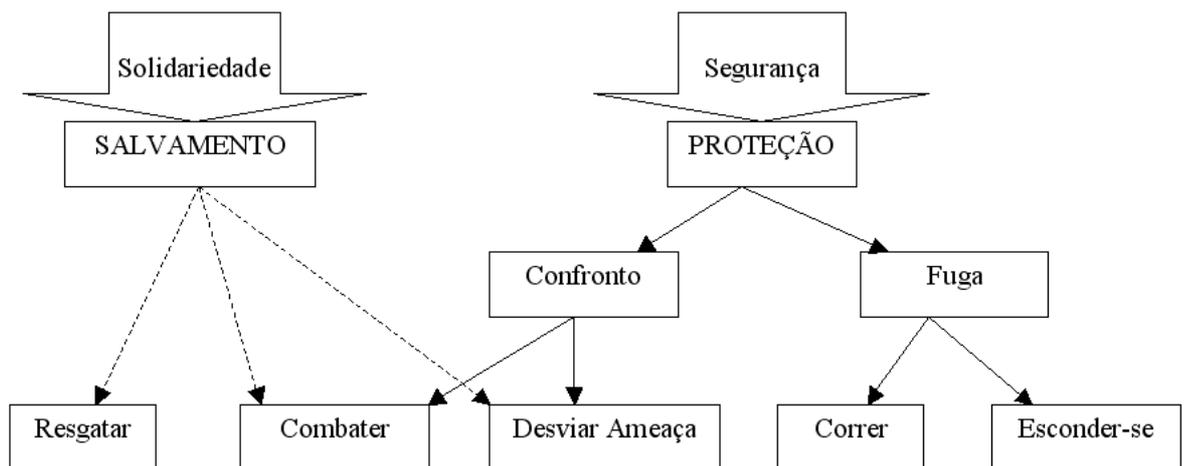


Figura 24 - Interação entre Proteção de Si e Solidariedade

A especificação de Salvamento se assemelha ao de Proteção, onde a periculosidade da Ameaça , estado do personagem em si, acrescido do estado do personagem em perigo, durante o procedimento de percepção, levam ao um sistema de seleção por faixas de valores de ativação entre Resgatar o ameaçado, Combater o perigo, ou Desviar a ameaça. Um exemplo desta situação aparece no famoso filme *Jurassic Park*, quando crianças estão acuadas por um Tiranossauro, e dois adultos adotam duas alternativas diferentes. Um deles tenta resgatá-las, e o outro tenta chamar a atenção do dinossauro utilizando uma luz.

Este esquema mostra como as intensidades que se propagam nas hierarquias, vindas das motivações, neste momento, preponderantes, e subdivididas por parâmetros que caracterizam o personagem, vão por fim determinar qual a ação que será por fim selecionada. Outra importante contribuição para a individualização do personagem e do resultado final emergente neste processo é a forma como serão implementadas as motivações de origem interna, das quais falaremos no tópico a seguir.

VII.3 Motivações de Origem Interna

As motivações que são geradas a partir do estado do organismo têm como função manter a sua homeostase, o seu equilíbrio interno. Dizem respeito a estados de falta que devem ser preenchidos, ou de excessos a serem descarregados. São, muitas vezes, relacionados a funções fisiológicas (fome, sede, cansaço, etc.), mas também dizem respeito a elementos afetivos, como amor, raiva, mágoa, etc. Ao invés de usarmos um exemplo específico para esclarecer como sugerimos que sejam modelados na arquitetura proposta, faremos uma especificação abstrata, de “uso geral”, que pode ser adaptada para cada motivação particular que se deseje que o personagem a ser concebido apresente.

Usaremos como modelo o da falta interna, mais intuitiva. A necessidade de descarga é semelhante, bastando inverter os sinais. A motivação de origem interna tem por característica ser autogerada. Assim, tem $m \neq 0$. Em alguns casos, pode receber a contribuição de um valor d vindo de um agente radar. Já citamos acima o caso da fome. Tipicamente, a fome aumenta por si própria, pelo simples passar do tempo. Entretanto, enquanto motivação para a intenção de comer, é estimulada pela visão de alimentos. Assim, caso interesse à aplicação, tal agente cognitivo pode ser implementado, de forma a contribuir para a intensificação da motivação. Entretanto, isto não é essencial para que a fome aumente como motivação, já que seu m lhe garante o incremento de seu valor de i . Esta é uma propriedade característica das motivações de origem interna.

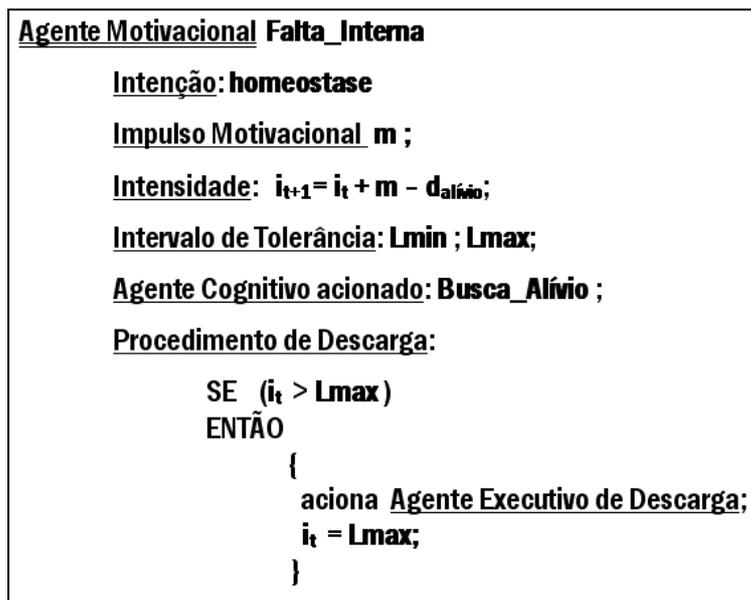


Figura 25 - - Especificação de Agente Motivacional Falta_Interna

Nesta especificação, por ser genérica, não foi mencionado o possível d que poderia eventualmente ser recebido de um agente cognitivo de tipo radar para intensificar a motivação. Seu funcionamento já foi apresentado e exemplificado, e aqui queremos nos restringir estritamente à apresentação de agentes de origem interna. Portanto, enfatizamos este propósito denominando o valor recebido como atenuante da intensidade como $d_{alívio}$. Consideramos o Agente Cognitivo acionado como Busca_Alívio como raiz de uma hierarquia de agentes cognitivos, e nos limitaremos a especificar este primeiro nó, com indicações genéricas.

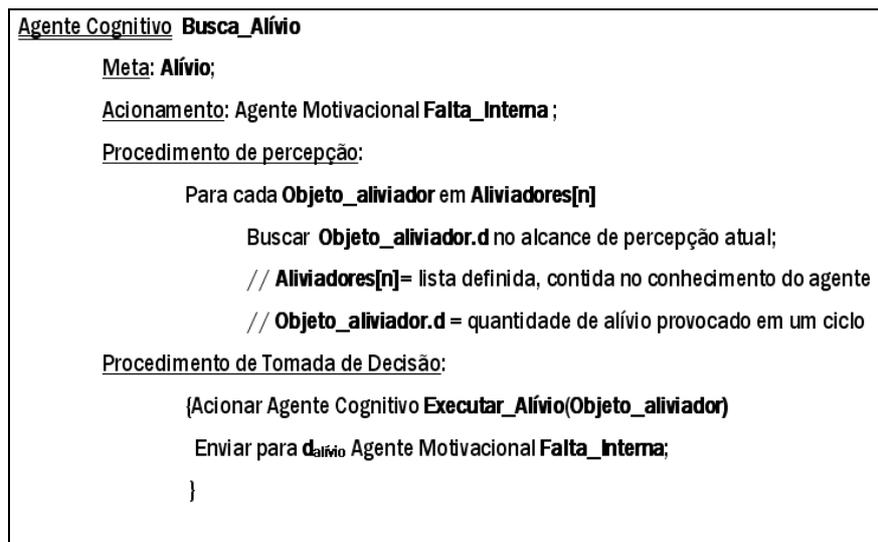


Figura 26 - Especificação de Agente Cognitivo Busca_Alívio

O Agente Cognitivo se encarrega de buscar algum dos elementos do ambiente que, incorporado em seu conhecimento (ou crença), está determinado que têm a capacidade de aliviar a falta interna que gerou esta intenção. Cada um desses elementos aliviará esta falta em certa proporção, que o que está incluído neste conhecimento. Uma vez encontrado um desses elementos, ele é enviado para que um outro agente cognitivo próprio execute sobre ele o procedimento (comer, beber, beijar, etc.) que satisfará a falta na proporção $d_{alívio}$, que é enviada ao agente motivacional para ser decrementada da intensidade da motivação.

VII.4 Uma Possibilidade de Implementação: ARéVi

Naturalmente, existiriam muitas possibilidades de implementação desta arquitetura. Entretanto, uma em particular se adequa às metas estabelecidas pelo presente trabalho. Trata-se de uma ferramenta voltada para realidade virtual, ARéVi [59] (Atelier de Réalité Virtuelle), uma biblioteca em C++, em Linux, que permite criar ambientes de simulação interativa de multiagentes. Desenvolvida na École Nationale d'Ingénieur de Brest. Além disso, inclui uma biblioteca de humanóides, baseados em

esqueletos, apropriados para a implementação de vários níveis de execução de ação. A biblioteca implementa entidades autônomas com capacidades sofisticadas de comunicação, e que são situadas em cenas tridimensionais onde se podem inserir som, luz, e elementos de interação. Esta preocupação conjunta de desenvolver entidades que podem implementar agentes ou atores, juntamente com recursos de RV, na mesma ferramenta, é o que faz o diferencial. Acrescente-se a isso o fato de ser uma ferramenta de licença livre.

VIII Conclusão e Trabalhos Futuros

O comportamento de Personagens Virtuais tem sido tratado de forma superficial até recentemente. Tratava-se basicamente da escolha de movimentos, traduzidos em seqüências de animações. A utilização de Inteligência Artificial era rara, restringindo-se normalmente aos jogos computacionais. Ao se pretender um comportamento mais próximo do comportamento humano, buscando uma estrutura de base para configurá-lo, vê-se que os estudos neste sentido se encontram em dois extremos: de um lado, as Ciências Cognitivas se propõe a modelar a Mente Humana, estudando funcionalidades como Percepção, Cognição, Emoção, etc. Fornece Conceitos que podem ser interessantes, mas que, por sua abstração, dificultam a sua transposição quando se deseja desenvolver uma aplicação computacional. De outro, muitas aplicações com soluções específicas, como é o caso de personagens de jogos computacionais, por exemplo. O estudo destas tendências foi exposto mais detalhadamente em trabalho anterior [60], e aqui apresentamos os que se mostraram interessantes ao presente trabalho.

A proposta deste trabalho se situa entre estes extremos. Trata-se de uma arquitetura de utilização geral, a partir da qual se possa construir um personagem que possa ser incluído em qualquer aplicação que necessite de seres virtuais que apresentem comportamentos humanóides.

A arquitetura multiagente de comportamento de personagens virtuais, proposta no presente trabalho, tratou cada personagem como um sistema multiagente, ou seja, como um *agente composto* por subagentes. Tais subagentes foram classificados segundo sua função em: agentes motivacionais, agentes cognitivos e agentes executivos. Os primeiros representam os impulsos internos que conduzem o comportamento, e são implementados através de agentes reativos. Seu conjunto constitui o *ambiente interno motivacional*. Neste ambiente, as motivações do personagem competem por prioridade. As vencedoras ativam os elementos correspondentes a suas intenções de uma árvore hierárquica de agentes cognitivos, que, uma vez processada, leva ao acionamento dos agentes executivos que efetivam as ações determinadas por tal processamento.

A estrutura de um agente composto permite a flexibilidade do comportamento emergente, mas poderia levar a um excesso de processamento computacional por conta da quantidade de elementos envolvidos. O processamento mais complexo de um personagem virtual é o que diz respeito à sua seleção de ação diante de uma dada situação, baseada em seu conhecimento. Especialmente quando se considera que

esta seleção deve ser flexível e verossímil, e deve parecer refletir sentimentos internos, tal como acontece com o ser humano. Esta seleção de ação em função do ambiente é, na arquitetura apresentada, função dos agentes cognitivos. Mas apenas poucos deles a realizam num determinado momento dado. De fato, ocorre, antes deste momento, uma triagem realizada por agentes motivacionais, agentes estes reativos, que, portanto, tendem a ter complexidade computacional menor por não utilizar conhecimento. Apenas aqueles agentes que representam motivações *prioritárias* acionarão agentes cognitivos que possam satisfazer suas respectivas intenções. Isso leva a um acionamento de somente uma pequena parcela do conjunto de agentes cognitivos, diminuindo o processamento do conhecimento total que o personagem incorpora sobre o ambiente. Ou seja, do conjunto de agentes que o agente composto contém, a dinâmica da arquitetura aqui proposta restringe, a cada momento, a atividade computacional a apenas poucos deles.

Buscou-se também a padronização da configuração dos agentes motivacionais apoiada fundamentalmente em parâmetros. Sendo os elementos propulsores do comportamento, é importante que sejam facilmente manipuláveis para que a criação, as alterações e a reutilizações possam ser realizadas e testadas sem dificuldade. Além disso, uma estrutura simples e pequena, auto-explicativa, torna-se uma boa forma de documentação e de troca de comunicação entre diferentes profissionais envolvidos na criação do personagem.

Os agentes cognitivos devem, ao contrário, ser deixados em aberto, pois devem poder incorporar toda a experiência já adquirida em termos de conhecimento nas diferentes áreas de aplicação. Assim, a arquitetura se mantém uma arquitetura de aplicação geral. Da mesma forma. Os agentes executivos devem se adequar ao ambiente de Realidade Virtual no qual se insere o personagem.

Enfim, este trabalho pretendeu incorporar a experiência já desenvolvida em diversas pesquisas de áreas correlatas em uma só estrutura que permitisse gerar comportamentos emergentes e flexíveis para personagens virtuais, com uma boa utilização de recursos computacionais. Além disso, a proposta incluía uma semi-padronização da modelagem de comportamentos, de forma intuitiva, que auxiliasse a comunicação e a documentação, além da reutilização do trabalho de construção de personagens virtuais.

Primeiramente, foram analisadas as propriedades de personagens que fossem suficientemente gerais para dar conta de uma gama ampla de aplicações, porém não tanto, a ponto de se transformarem em conceitos abstratos demais para serem

implementados. Uma análise de modelos cognitivos relevantes e de trabalhos implementados em laboratórios de pesquisa e de uso no mercado foi o ponto de partida para o estabelecimento destas propriedades. O que se apresentou, embora não em um modelo único, mas disperso em vários deles, em combinações diversas foi que, para um personagem possa apresentar um comportamento humanóide verossímil, a estrutura computacional de seu comportamento deve apresentar as seguintes características: estruturada em módulos autônomos, hierárquicos, que incorpore conhecimento, ativada por motivação, e com capacidade de proatividade, e reatividade. Buscou-se, então, incorporar estas propriedades na arquitetura proposta.

Partiu-se do conceito de *software semifluido* [48], visto que, ao invés de pretender-se rigidamente correto segundo preceitos pré-definidos, permite um comportamento emergente, que se adequa às circunstâncias de um ambiente dinâmico. Tal é obtido através de sistemas multiagentes construídos a partir de *agentes compostos*, ou seja, agentes formados por outros agentes. A idéia é tirar proveito das propriedades de agentes reativos e de agentes cognitivos na composição de cada agente que compõe o sistema como um todo, enriquecendo o seu comportamento e permitindo mais alternativas e possibilidades de ações e reações, com menor custo de rastreamento do ambiente.

O personagem, então, é aqui considerado um agente composto. Cada subagente corresponderá a um módulo autônomo, e terá uma função própria na estrutura. Entretanto, ao contrário da proposta original de agente composto, os agentes que conduzirão o comportamento não são os cognitivos, aqueles que estão em contato com o ambiente exterior. Na proposta da arquitetura do comportamento motivado, o conjunto de agentes que conduz o comportamento do personagem é o de *agentes motivacionais*, internos e reativos, que são capazes de se autogerir, embora também sofram influência do meio externo. Os agentes cognitivos, que reúnem as funções de ação e percepção específicas de cada intenção relativa a uma motivação de um agente motivacional, somente entram em ação quando acionados pela motivação que os pode ativar.

Esta estrutura baseada em motivação é fundamentada na intuição básica de que o ser humano somente faz aquilo que é levado a fazer por suas intenções – mesmo que estas intenções pareçam contrárias à sua vontade. Por exemplo, pode-se fazer coisas desagradáveis para livrar-se de outras ainda mais desagradáveis Nada é feito sem motivo. Desde Freud, popularizou-se o “ato falho”, segundo o qual, nem mesmo nossos pequenos erros cotidianos escapam desta regra.

Quando transformamos motivações em agentes reativos que ativam a subestrutura de agentes cognitivos hierárquicos que mobilizam a seleção da ação a ser executada, deixando o restante dela inativa, diminuimos o processamento computacional, visto que agentes reativos tem menor processamento que agentes cognitivos.

Algumas exceções foram deixadas para agentes capazes de detectar alertas. Estes agentes, quando disparados, acionam agentes motivacionais que respondem aos alertas com a intenção adequada que estes despertam, da mesma forma que funcionam os demais agentes de sua classe.

Agentes motivacionais recebem de agentes cognitivos os sinais que indicam que suas necessidades foram desativadas, diminuindo sua ação.

Cada agente foi configurado de forma mais simples possível, com a intenção de que possa ser especificado, documentado com relativa facilidade. A estrutura que vincula cada motivação ao seu respectivo conhecimento específico é adequada ao desenvolvimento e à modificação do personagem, assim como à sua utilização a variadas aplicações.

A replicação de personagens com diferentes parâmetros permite fáceis variações, sem a necessidade de reprogramação. Isto é interessante, no caso de simulação que tratem de grande número de pessoas em que as mesmas propriedades motivacionais estejam em jogo.

Em termos de trabalhos futuros, um passo natural adiante é o de gerar uma ferramenta que facilite a criação dos personagens. Na medida em que as motivações forem interagindo e se tornando complexas, seria interessante que elas pudessem ser testadas e desenvolvidas por prototipagem. Uma ferramenta de construção por prototipagem que permitisse construir cada motivação e seu correspondente conhecimento, e em seguida pudesse reuní-los em uma construção passo a passo, parece ser uma próxima etapa interessante no desenrolar deste trabalho. O próprio fazer desta ferramenta permitirá aperfeiçoar o modelo, apresentando detalhamentos interessantes, e possíveis elementos dispensáveis. Uma possibilidade para realização deste projeto é a utilização da ferramenta ARéVi, que já apresenta muitos recursos prontos e valiosos para sua execução.

IX Referências Bibliográficas

- [1] LEMOINE, P., VEXO, F. THALMANN, D., *Interaction Techniques: 3D Menus-based Paradigm*, Augmented Virtual Reality Workshop (AVIR) Genebra, Suíça, 2003
- [2] KALAWSKY, R. S., *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [3] *Linguagem VRML* – Consórcio: <http://www.web3d.org/>
- [4] COUCHOT, E., *A tecnologia na arte – da fotografia à realidade virtual*. Editora UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2003.
- [5] MELLET-d’HUART D., RICHARD, P., FOLLUT, D., “VR for Education and Training: State of Art and Typology of Uses”. In RICHIR S., RICHARD P. & TARAVEL B. (Eds) *Proceedings of Virtual Reality International Conference* pp 47-55 ISTIA Innovation, 2001.
- [6] HOOPES, J. W. último acesso em janeiro, 2006, Virtual Archaeology - *Links to online resources* <http://www.ku.edu/~hoopes/virtual.htm>
- [7] COSTA, R. M. E., *Ambientes Virtuais na Reabilitação Cognitiva de Pacientes Neurológicos e Psiquiátricos*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
- [8] *Scientists make virtual unreality a reality*– último acesso em janeiro, 2006 <http://www.theage.com.au/articles/2002/06/26/1023864606902.html>, 2002
- [9] Microsoft® Agent - último acesso em janeiro, 2006, <http://www.microsoft.com/msagent/default.asp>
- [10] REHM, M., ANDRÉ, E. *From chatterbots to natural interaction – Face to face communication with Embodied Conversational Agents*. IEICE Transactions on Information and Systems, Special Issue on Life-Like Agents and Communication, 2005.
- [11] RIST, T., ANDRÉ, E., BALDES, S. “A Flexible Platform for Building Applications with Life-Like Characters”, In JOHNSON W. L., ANDRÉ E., DOMINGUE, J., *International Conference on Intelligent User Interfaces*, p.158-165, ACM Press, 2003
- [12] ANDRÉ, E., KLESEN, M., GEBHARD, P., ALLEN, S., RIST, T. Integrating models of personality and emotions into lifelike characters. *Proceedings of the Workshop on Affect in Interactions – Towards a new Generation of Interfaces*, p. 136–149. Siena, Italy, 1999.
- [13] *Projeto STEVE* – <http://www.isi.edu/isd/VET/vet-body.html>
- [14] RICKEL, J., JOHNSON, W.L., *Animated Agents for Procedural Training in Virtual Reality: Perception, Cognition, and Motor Control*. *Applied Artificial Intelligence* 13:343-382, 1999.
- [15] JOHNSON, W.L., RICKEL, J., STILES, R., MUNRO, A., *Integrating Pedagogical Agents into Virtual Environments*, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7(6):523-546, 1998.
- [16] RICKEL, J., GRATCH, J. HILL, R., MARSELLA, S., SWARTOUT, W. *Steve goes to Bosnia: towards a new generation of Virtual Humans for Interactive. Experiences*. AAAI Symposium on Artificial Intelligence and Interactive Entertainment, 2001.
- [17] *Projeto MAX* - <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/~skopp/max.html>
- [18] KOPP, S., WACHSMUTH I., . “Modelbased Animation of Coverbal Gesture” .In *Proceedings of Computer Animation*, p. 252-257, IEEE Press, Los Alamitos, CA, 2002.
- [19] SOWA, T., KOPP, S., LATOSCHIK, M. E.. “A Communicative Mediator in a Virtual Environment: Processing of Multimodal Input and Output”. In: *Proceedings of the International Workshop on Information Presentation and Natural Multimodal Dialogue*, p. 71-74, Verona, Italy, 2001.
- [20] *Projeto JACK* – Empresa UGS: <http://www.ugs.com/brasil/>
http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human_performance/jack/
- [21] *Projeto Virtual Archaeology* - <http://www.mnsu.edu/emuseum/archaeology/virtual/index.shtml>

- [22] *Project Virtual life in Pompeii*: "World Première in Hotel Intercontinental, Geneva": <http://www2.miralab.unige.ch/> , (2001)
- [23] *Project EPOCH* : "European research network on excellence in Processing Open Cultural Heritage" <http://www.epoch-net.org/>
- [24] Massive: <http://www.massivesoftware.com/index.html>
- [25] Ultima Online - Eletronic Arts - <http://www.ultimaonline.com/>
- [26] Miralab: <http://www2.miralab.unige.ch/>
- [27] Virtual reality Lab: <http://vrlab.epfl.ch/>
- [28] GAIPS: Grupo de Agentes Inteligentes e Personagens Sintéticas <http://gaips.inesc.pt/gaips/pt/index.html>
- [28] Jogos da Microsoft®: <http://www.gaspowered.com/>
- [29] Jogos da série Unreal®: <http://www.unrealtechnology.com/html/homefold/home.shtml>
- [30] Jogos da série Quake® e Doom®: <http://www.idsoftware.com/>
- [31] *Cognition and Affect Group* , Birmingham University : <http://www.cs.bham.ac.uk/research/cogaff/>
- [32] SLOMAN, A. LOGAN,B.. Evolvable architectures for human-like minds. In G. HATANO, OKADA, N.,TANABE, H. eds, *13th Toyota Conference – AffectiveMinds*, p. 169–181, Elsevier, Amsterdam, 2000.
- [33] SLOMAN, A. "Beyond Shallow Models of Emotion" in *Cognitive Processing* , Vol2 No1, p 177-198, 2001.
- [34] FRANKLIN, S. *Artificial Minds*. MIT Press, 1995.
- [35] PIAGET, J., INHELDER, B. *Memória e Inteligência*, Editora Artenova, São Paulo, Brasil, 1979.
- [36] THALMANN, D., MUSSE, S. R., KALLMANN, M. "Virtual Human's Behaviour: Individuals, Groups and Crowds" In *Proc. Digital Media Futures*, Bradford, UK, 1999.
- [37] SEVIN, E. THALMANN, D. "A Motivational Model of Action Selection for Virtual Humans", In *Computer Graphics International (CGI)*, IEEE Computer, SocietyPress, New York, 2005.
- [38] SEVIN, E. THALMANN, D. "An Affective Model of Action Selection for Virtual Humans" In *Proceedings of Agents that Want and Like: Motivational and Emotional Roots of Cognition and Action symposium at the Artificial Intelligence and Social Behaviors Conference (AISB'05)* , University of Hertfordshire, Hatfield, England, 2005.
- [39] DONNART, J-Y, MEYER, J-A, "A hierarchical classifier system implementing a motivationally autonomous animat", in *The 3rd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior*, The MIT Press/Bradford Books, 1994.
- [40] TOZOUR, P., AUSTIN, I.S. "The Evolution of Game AI " in RABIN, S. *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, Inc, 2002.
- [41] CHAMPANDARD , A. J. *AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors*, New Riders Games, 2003.
- [42] CHIVA, E. , DEVADE, J. , DONNART, J.-Y., MARUÉJOULS, S., "Motivational Graphs: A New Architecture for Complex Behavior Simulation" In RABIN, S. *AI Game Programming Wisdom 2*, p.361:372 Charles River Media, Inc, 2004.
- [43] AYLETT, R., LUCK, M. "Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent Virtual Environments". *Applied Artificial Intelligence*, v. 14, n. 1, p. 3-32, 2000.
- [44] OSÓRIO, F. S., MUSSE, S. R., SANTOS, C. T., HEINEN, F., BRAUN. A., SILVA. ^a T. *Ambientes Virtuais Interativos e Inteligentes: Fundamentos, Implementação e Aplicações Práticas* . XXIV Congresso da SBC . MINI-CURSO - Jornada de Atualização em Informática - - Salvador/BA, Brasil, 2004.
- [45] RUSSELL, S., NORVIG, P, *Artificial Intelligence - A modern Approach*, Prentice Hall, Inc., 1995.
- [46] WOOLDRIDGE, M., JENNINGS, N, "Intelligent Agents: Theory and Practice". In: *Knowledge Engineering Review*, V. 10 No2, Cambridge University Press, U.K, 1995.

- [47] MANDIAU, R., STRUGEON, G., "Systèmes multi-agents". In MANDIAU, R., STRUGEON, G., (Ed.), *Techniques De L'ingénieur* (Ed.), pp. 1-17, Paris, 2001.
- [48] VANPUTTE, M., OSBORN, B., HILES, J. "A Composite Agent Architecture for Multi-Agent Simulations". In: *Proceedings of the Eleventh Conference in Computer Generated Forces and Behavior Representation*, 2002.
- [49] OSBORN, B. *An Agent-Based Architecture for Computer-Generated Interactive Stories*, MSc Dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, CA., 2002.
- [50] LURIA, A. R., *Higher Cortical Functions in Man*, 2nd ed, New York, Basic Books, Inc Publishers, 1980.
- [51] LURIA, A. R., *Fundamentos de Neuropsicologia*, São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora, EDUSP, 1981.
- [52] PIAGET, J., 1967, *A Psicologia da Inteligência*, 2 ed, Lisboa, Livros Horizonte, LDA
- [53] PIAGET, J., FRAISSE, P. "A Inteligência" (eds.) In: PIAGET, J., FRAISSE, P. (eds.) *Tratado de Psicologia Experimental*, Vol. VII., 1 ed, Rio de Janeiro, Companhia Editora Forense, 1963.
- [54] FREUD, S. "Projeto para uma Psicologia Científica". In: *Edição Standard Brasileira das Obras Psicológicas Completas de Sigmund Freud*, Vol I, p.381-517, 1969.
- [55] PIAGET, J. Inconscient affectif et inconscient cognitif. In: *Problèmes de psychologie génétique*. Éditions Denoel Paris, 1972.
- [56] VILELA, I.M.O. e, LIMA, P.M.V. "Conjecturing the Cognitive Plausibility of an ANN Theorem-Prover". In: *Lecture Notes on Computer Science*, 2084, pp 822-829, 2001.
- [57] VILELA, I.M.O. Abordagem Integrada para Modelagem Computacional de Percepção Visual. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.
- [58] VILELA, I.M.O. *An Integrated Approach of Visual Computational Modelling*. 6th Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN), Rio de Janeiro, Brazil. IEEE Computer Society, 2000.
- [59] HARROUET, F. *AréVi* – Texto a ser publicado, cedido pessoalmente pelo autor, 2006.
- [60] VILELA, I.M.O., *Modelagem de Humanos Virtuais Através de Sistemas Multiagentes*, Projeto de Qualificação, DSc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.