

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

LEANDRO GUIMARÃES MARQUES ALVIM

**Uma Máquina de Estados Nebulosa
para um Modelo de Emoções aplicado
a um Personagem de um Jogo
Eletrônico**

Prof. Adriano Joaquim de Oliveira
Cruz, Ph.D.
Orientador

Rio de Janeiro, Março de 2008

Ficha Catalográfica

Guimarães Marques Alvim, Leandro

Uma Máquina de Estados Nebulosa para um Modelo de Emoções aplicado a um Personagem de um Jogo Eletrônico / Leandro Guimarães Marques Alvim. – Rio de Janeiro: UFRJ IM, 2008.

92 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Informática, Rio de Janeiro, BR–RJ, 2008.

Orientador: Adriano Joaquim de Oliveira Cruz, Ph.D. .

I. Joaquim de Oliveira Cruz, Ph.D. , Adriano. II. Título.

Uma Máquina de Estados Nebulosa para um Modelo de Emoções aplicado a um Personagem de um Jogo Eletrônico

Leandro Guimarães Marques Alvim

Dissertação de Mestrado submetida ao Corpo Docente do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática, e Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Informática.

Aprovado por:

Prof. Adriano Joaquim de Oliveira Cruz, Ph.D. (Orientador)

Prof. Josefino Cabral Melo Lima, DSc.

Prof. Antonio Carlos Gay Thomé, Ph.D.

Prof. Antonio Alberto Fernandes de Oliveira, DSc.

Rio de Janeiro, Março de 2008

Dedico este trabalho à minha família querida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Yanko Gitahy de Oliveira pelo esplêndido trabalho realizado na parte de computação gráfica, sem o qual não teria sido possível aplicar o modelo proposto em tempo de conclusão do projeto.

Quero agradecer ao meu orientador pela oportunidade dada à pesquisa na área de inteligência computacional aplicada a jogos eletrônicos.

Agradeço a minha mãe e a minha namorada por todo apoio emocional e ao meu pai pelo auxílio na correção do texto, além de algumas ajudas adicionais para que este trabalho fosse realizado.

Agradeço ao CNPQ e ao IM-NCE pelo financiamento à pesquisa deste trabalho. Devo agradecer, também, a todos os membros do Laboratório de Inteligência Computacional (LabIC-NCE) pelo companheirismo, opiniões e testes do produto deste trabalho.

RESUMO

Nesta dissertação um modelo de emoções para personagens de jogos eletrônicos é investigado. Objetivando simular este modelo, uma Máquina de Estados Nebulosa (FuSM) com uma nova função de transferência de graus de pertinência foi proposta. A FuSM foi aplicada a um personagem de um jogo eletrônico de xadrez, que foi capaz de reagir, sob a forma de expressões faciais, de acordo com os lances do jogo. Resultados de simulações mostram o grande poder de expressão da FuSM em se tratando da atuação simultânea de múltiplos estados. Resultados promissores foram obtidos a partir da função de transferência proposta, que foi capaz de suavizar de forma eficiente as transições entre estados, produzindo expressões faciais de boa qualidade.

Palavras-chave: FuSM, Jogos, Expressões Faciais.

A Fuzzy State Machine for an Emotion Model Applied to an Eletrocnic Game Character

RESUMO

In this dissertation, we investigate an emotion model for characters of electronic games. Aiming at simulating the emotion model, a Fuzzy State Machine (FuSM) with a new function for transferring membership degrees was proposed. The FuSM was applied to a virtual character of a chess game, that was able to react, in the form of facial expressions, according to moves of the game. Simulation results show the great potential of expression of FuSM, due to the fact that it can act on several states at the same time. Promising results were obtained with the proposed new FuSM transfer function, which was able to efficiently smoothen transitions among emotion states, creating good quality facial expressions.

Palavras-chave: FuSM, Games, Facial Expressions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Um Exemplo de FuSM para Personagem de Jogo FPS	28
Figura 4.1: Transferência de Pacotes ($i \rightarrow j$)	56
Figura 4.2: Transferência de Pacotes ($i \rightarrow j$)	57
Figura 4.3: Transferência de Pacotes ($i \leftarrow j$)	58
Figura 4.4: Transferência de Pacotes ($i \leftarrow j$)	59
Figura 5.1: Implementação da FuSM para o Modelo ME	62
Figura 5.2: Targets	63
Figura 5.3: Personagem em desvantagem material	66
Figura 5.4: Personagem em desvantagem material e em xeque	67
Figura 5.5: Personagem em vantagem material e em xeque	68
Figura 5.6: Antes da desvantagem material - situação inicial	69
Figura 5.7: Personagem em desvantagem material - peão capturado	69
Figura 5.8: Personagem em desvantagem material - cavalo capturado	70
Figura 5.9: Antes da vantagem material - situação inicial	70
Figura 5.10: Personagem em vantagem material - capturando um cavalo	71
Figura 5.11: Personagem em vantagem material - após a captura do cavalo	71
Figura 5.12: Personagem em vantagem material - capturando um peão	72
Figura 5.13: Antes da vantagem material - situação inicial	72
Figura 5.14: Capturando o peão - fase crescente	73
Figura 5.15: Capturando o peão - fase crescente	73
Figura 5.16: Capturando o peão - fase decrescente	74
Figura 5.17: Capturando o peão - fase decrescente	74
Figura 5.18: Personagem ocioso - situação inicial	75
Figura 5.19: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito	75
Figura 5.20: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito	76
Figura 5.21: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito	76
Figura 5.22: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Comparativo entre FsM e FuSM quanto a Avaliação das Transições	29
Tabela 2.2: Comparativo entre FsM e FuSM quanto a Evolução de Estados	30
Tabela 3.1: As Cinco Dimensões da Personalidade (Modelo FFM)	38
Tabela 3.2: As 22 emoções (Modelo OCC)	41
Tabela 3.3: As 6 emoções (Modelo de Kshirsagar)	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FFM	Modelo dos Cinco Fatores
FsM	Máquina de Estados Finitos
FuSM	Máquina de Estados Nebulosa
FuSMLib	Biblioteca de Máquina de Estados Nebulosa
ME	Estado de Espírito e Estado Emocional
OCC	Ortony, Clore e Collins
OGRE	Motor de Renderização Gráfica Orientado a Objetos
OGREChess	Jogo de Xadrez desenvolvido em OGRE
PE	Personalidade e Estado Emocional
PME	Personalidade, Estado de Espírito e Estado Emocional

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Jogos Eletrônicos	14
1.1.1	Por que Pesquisar?	14
1.1.2	Uma Poderosa Ferramenta para o Processo de Aprendizado	16
1.2	Relevância de Métodos de Inteligência Computacional para Jogos	19
1.3	Motivações	20
1.4	Objetivo	21
1.5	Metodologia	22
1.6	Organização da Dissertação	23
2	MÁQUINA DE ESTADOS NEBULOSA	24
2.1	Conceitos Básicos	26
2.1.1	Representação dos Estados	26
2.1.2	Representação das Transições	26
2.1.3	Exemplo de Aplicação	27
2.2	Definições	29
2.3	Problemas e Restrições de Implementação	31
2.3.1	O Problema da Degeneração	31
2.3.2	O Problema dos Estados Inexpressivos	33
3	MODELOS DE EMOÇÕES	35
3.1	Conceitos Básicos	37
3.1.1	Personalidade	37
3.1.2	Emoções	39
3.1.3	Estado de Espírito	40
3.2	O Modelo PE	43
3.2.1	Definição	43
3.2.2	Processamento	44

3.3	O Modelo PME	45
3.3.1	Definição	45
3.3.2	Processamento	45
4	MODELO PROPOSTO	47
4.1	O Modelo ME	47
4.1.1	Definição	47
4.1.2	Processamento	49
4.2	Uma FuSM Aplicada ao Modelo ME	49
4.2.1	Estados Nebulosos	49
4.2.2	Transições	51
4.3	Análise do Modelo Proposto	58
4.3.1	Vantagens	58
4.3.2	Desvantagens	59
5	RESULTADOS COMPUTACIONAIS	60
5.1	Implementação do Personagem no Jogo	60
5.1.1	Comportamento do Personagem no Jogo	61
5.1.2	Representação das Emoções e Estados de Espírito do Personagem	61
5.1.3	Técnica de Animação Utilizada	62
5.1.4	Extração e Avaliação de Características do Jogo para o Personagem	63
5.2	Casos de Teste	64
5.2.1	Caso de Teste 1 - Mescla de Estados	65
5.2.2	Caso de Teste 2 - Interação entre as Emoções e os Estados de Espírito	66
5.2.3	Caso de Teste 3 - Suavidade Quanto a Mudança de Estados	67
5.2.4	Caso de Teste 4 - Decaimento no Tempo dos Estados de Espírito	68
5.3	Análise	77
6	CONCLUSÕES	80
6.1	Contribuições	81
6.2	Trabalhos Futuros	82
6.3	Resultados dos Experimentos	83
6.4	Dificuldades Encontradas	84
6.5	Considerações Finais	85
	BIBLIOGRAFIA	86
	APÊNDICE A EXPERIMENTOS	90
A.1	Ambiente Computacional	90
A.2	Programas Utilizados	90
A.2.1	O Motor de Renderização Gráfica Orientado a Objetos - OGRE	90
A.2.2	OgreChess	91

A.2.3	A Biblioteca FuSMLib	91
-------	--------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

“Que a inspiração chegue não depende de mim. A única coisa que posso fazer é garantir que ela me encontre trabalhando.”

Pablo Picasso

Este capítulo está organizado da seguinte forma: na seção 1.1 são apresentadas as questões relativas à pesquisa e aos benefícios adquiridos dos jogos para o processo de aprendizado. As seções 1.2 e 1.3 descrevem, respectivamente, objetivo e motivações deste trabalho. Na seção 1.4 são apresentadas as metodologias empregadas neste trabalho. Por fim, a seção 1.5 descreve a organização da dissertação em capítulos.

1.1 Jogos Eletrônicos

1.1.1 Por que Pesquisar?

A pesquisa em jogos no campo da Ciência da Computação ainda sofre muitos preconceitos por parte do meio acadêmico. Talvez, pela direta associação entre as palavras “jogo” e “diversão”. Tal associação de fato é verdadeira, no entanto, nem tudo que proporciona diversão pode ser considerado como de pouca relevância

cultural ou científica. Como prova, tem-se o caso do jogo de xadrez, que motivou publicações acadêmicas em diversas áreas da Ciência da Computação, como por exemplo, Inteligência Artificial e Inteligência Computacional.

Além de pesquisas acadêmicas nestas duas áreas, ampla literatura didática foi produzida ao longo dos anos. Em consequência disto, houve relevante amadurecimento do estudo de jogos eletrônicos. Como se pode notar, a associação de jogo à palavra diversão nem sempre implica em não-seriedade do mesmo.

Outro aspecto, não menos importante, é que a produção de técnicas computacionais para jogos pode acarretar, à vezes, no desenvolvimento de novas tecnologias de hardware. Como exemplo, há o caso do desenvolvimento acelerado de tecnologias de placas de vídeo para jogos de PC, no qual jogos mais recentes lançam novas técnicas de computação gráfica. Estas novas técnicas demandam maior poder de processamento e conseqüentemente, acabam estimulando o mercado a gerar novas placas de vídeo, que por sua vez, também estimulam a produção de novas técnicas para jogos. Este ciclo é fonte de grande produção tecnológica e acadêmica para a Ciência da Computação.

Pode-se mencionar também a pesquisa de jogos do tipo “Massive Multiplayer Online Games” (MMOGs). Este tipo de jogo comporta milhares de jogadores conectados à internet, os quais interagem entre si em um mundo virtual comum, muitas vezes, com economia própria. Estudos sociais e econômicos extraídos a partir deste tipo de jogo podem dar margem a novas pesquisas científicas. Além disso, podem ser feitos estudos na área de redes, tal como a distribuição de carga dos servidores desses jogos.

A utilização da pesquisa em jogos à produção de ferramentas educacionais pode ser de grande valia. Tais ferramentas podem contribuir para o processo de aprendizado de seus utilizadores e também podem ser aplicadas em instituições de ensino.

Como pôde ser observado, a pesquisa na área de jogos é bastante promissora e tem sido alvo de estudos por diversas instituições de ensino acadêmico. Instituições brasileiras tais como UFRJ, PUC-Rio e estrangeiras, como a Universidade de Alberta e outras, vêm cada vez mais investindo nesta área. Adicionalmente, há congressos e conferências especializadas na área tais como: ICEC (International Conference on Entertainment Computing), CG (International Conference on Computers and Games), WJogos (Workshop Brasileiro de Jogos e Entretenimento digital) e outros, que vêm apresentando trabalhos interessantes sobre a área.

1.1.2 Uma Poderosa Ferramenta para o Processo de Aprendizado

Existem diversos estudos relacionados a jogos eletrônicos e aos benefícios que estes podem proporcionar ao processo de aprendizado do jogador. Dentre os estudos deve-se mencionar (CRUZ A. J. O. DEMASI P., 2003) e (GEE, 2003). No entanto, antes de entrar em detalhes sobre estes benefícios, é necessário saber discernir antes, quais jogos contribuem para tal processo. Será utilizada, a partir daqui, a classificação de bom jogo àquele que contém certos princípios, vistos adiante, que acarretam em benefícios ao processo de aprendizado.

Em (GEE, 2003), são apresentadas algumas argumentações interessantes a respeito desses benefícios. Primeiramente, o autor argumenta que escolas, universidades, locais de trabalho e até mesmo as famílias ainda têm muito o que aprender sobre o processo de aprendizado, a partir da utilização de jogos eletrônicos como forma de entretenimento. A argumentação é baseada em princípios de aprendizado que vêm sendo incorporados aos jogos eletrônicos recentes. Muitos desses princípios são fundamentados em pesquisas (BRUER, 1993) (A., 1998) (COGNITION; VANDERBILT, 1997) (LAVE, 1996) (GROUP, 1996) (COGNITION; VANDERBILT, 1991) no campo da ciência cognitiva.

Como segunda argumentação, o autor propõe a utilização de jogos eletrônicos e suas tecnologias como ferramentas de auxílio ao aprendizado nas escolas, univer-

sidades e locais de trabalho. Acredita também que, cada vez mais, esses ambientes de trabalho utilizarão computadores para auxiliar o ensino de conteúdo didático e aperfeiçoamento de habilidades específicas. Isto é devido a que as crianças, jovens e até mesmo pais da recente geração (décadas de 1980 à 2000) terem entrado em contato com jogos eletrônicos ao longo de sua formação intelectual. Como comprovação prática dos argumentos apresentados, o autor realiza alguns testes com relação aos benefícios extraídos da utilização de jogos eletrônicos para o aprendizado. Um dos testes, realizado na Universidade de Wisconsin, tratou de observar uma criança de sete anos de idade jogando o jogo de estratégia “Age of Mithology” (STUDIOS, 2002). O estudo mostrou que a criança fez pesquisas dentro do jogo e fora, à procura de informações sobre mitologia. Além disso, comprou livros a respeito do tema, desenhou e escreveu histórias relacionadas ao tema. Para melhor esclarecer os princípios de aprendizado amplamente encontrados em jogos eletrônicos de boa qualidade, serão citados alguns que chamaram mais atenção.

Um dos princípios estabelece que bons jogos devem permitir que seus jogadores sejam “produtores” e não somente “consumidores”. Quando se usa o termo produtor, está-se referindo à possibilidade que os jogadores possuem de tomar suas próprias decisões, como as habilidades de seu personagem, seleção de suas próprias missões e, dependendo do jogo, até a construção de suas próprias fases. Já o termo “consumidor” refere-se à utilização do jogo sem nenhuma atividade construtiva, mas somente recreativa. Assim, um jogo construído de acordo com este princípio pode ser valioso no contexto educacional.

Outro princípio importante mencionado pelo autor é que, bons jogos trazem a informação por demanda e ao seu tempo. Segundo (BARSALOU, 1999) (BROWN, 1994), as pessoas raramente se lembram de informações fora de contexto ou raramente apreendem as informações obtidas muito tempo antes de serem postas em prática. Um bom exemplo de informação à demanda são os jogos de “RPG”. Neste tipo de jogo, o jogador recebe gradualmente pequenos trechos de conteúdo necessários para desvendar pequenas missões (“quests”). Estas, quando realizadas em sua totalidade, servem para resolver o problema maior do jogo.

Um outro princípio abordado, que também pode ser encontrado em (DEMASI, 2003), é o da adaptação do jogo a favor da não-frustração. Por exemplo, se o jogo oferece um problema que para o jogador é um desafio além de suas possibilidades, pode ser que ele desista do jogo. O mesmo também vale se o jogo apresenta situações de fácil resolução. Para contornar isto, Demasi (DEMASI, 2003) propõe que o jogo possua níveis de dificuldade que se adaptem às habilidades dos jogadores. Adicionalmente, Elman (GIRAUD-CARRIER; MARTINEZ, 1994) recomenda que os desafios sejam apresentados em ordem crescente de dificuldade. Inverter esta ordem pode ser prejudicial à capacidade de generalização de problemas por parte do jogador. Embora soluções criativas possam ser obtidas quando se apresentam ao jogador situações muito complexas, fora da ordem sugerida, este não é um procedimento recomendável.

O princípio do compartilhamento do conhecimento também é visto em abundância em jogos bons, como por exemplo os jogos MMOGs. Nestes, jogadores são capazes de aprender a negociar, compartilhar informações (dentro e fora do jogo) e trabalhar em grupo. Já o princípio da imersão no personagem do jogo contribui significativamente à aceleração do aprendizado. Um bom exemplo em sala de aula é que se um aluno quer resolver um problema de ciências, ele deve pensar e agir como um cientista.

Por fim, o autor trata a motivação como um dos mais importantes fatores do processo de aprendizado. Segundo este, “Quando a motivação morre, o aprendizado morre e o jogador abandona o jogo”. Estudos podem ser propostos para descoberta de aspectos motivadores do processo de aprendizado para um determinado conteúdo.

Como pode ser observado, diversos benefícios para o aprendizado podem ser extraídos da utilização de jogos eletrônicos. Logo, jogos podem ser aplicados tanto nas escolas, ambientes de trabalho e universidades. Uma das motivações para este trabalho foi, então, o fato de que jogos eletrônicos são ferramentas educacionais poderosas para o processo de aprendizado do ser humano.

1.2 Relevância de Métodos de Inteligência Computacional para Jogos

Métodos exatos sempre serão motivos de pesquisas acadêmicas em Ciência da Computação. No entanto, estes se restringem a problemas de espaço de busca limitado polinomialmente. Muitas vezes, quando o problema apresenta complexidade exponencial, estes métodos já não satisfazem. Para resolução de problemas desta natureza, métodos de inteligência computacional se encaixam adequadamente. Estes métodos apresentam como principal característica a busca de uma solução, que seja satisfatória, dentro de um tempo razoável. Tal característica, aplicada ao jogos eletrônicos é bastante promissora. Como exemplo tem-se o jogo de xadrez KnightCap (JONATHAN BAXTER, 1998), no qual foram-se utilizados métodos aproximativos para produzir um motor de jogo fosse capaz de avaliar as posições do tabuleiro. Este tipo de avaliação, se fosse feita através de métodos exatos, provavelmente chegaria a resultados mais precisos, no entanto, levaria décadas.

Outro grande potencial da aplicação de métodos de inteligência computacional para jogos se dá na resolução de problemas de “pathfinding”. Este tipo de problema consiste em encontrar a melhor rota entre dois pontos em um mapa discretizado. Métodos exatos como Dijkstra e A* encontram a solução ótima para este tipo de problema, no entanto apresentam algumas peculiaridades nem sempre desejáveis. A primeira se relaciona com tempo gasto para encontrar a solução, que muitas vezes é excessivo do ponto de vista do projetista. A segunda diz respeito à forma com que estes métodos encontram a solução. Muitas vezes, o jogador quer que seus inimigos apresentem um comportamento “menos artificial”. Como exemplo, imagine que um inimigo do jogo tenha como objetivo passar por três pontos dispostos em formação triangular em um mapa discreto. Personagens de jogos, geralmente, cumprem tal percurso de forma precisa. No entanto, jogadores desejam que seus inimigos se comportem de uma forma mais próxima ao comportamento humano. Uma solução criativa para contornar este problema, de acordo com (AGUIAR GRIECO, 2006), foi utilizar técnicas de inteligência computacional (Algoritmos Genéticos, Redes Neurais e Lógica Nebulosa).

Métodos de inteligência computacional podem servir também para modelagem de comportamento de personagens de jogos. A modelagem do comportamento trata do modo com que o personagem se comporta ou toma decisões dentro do ambiente do jogo. Muitas vezes quer-se um modelo de comportamento que se assemelhe ao de um ser humano ou ao menos que não seja demasiadamente “artificial”. Geralmente, o tratamento deste tipo de problema é encarado sob uma ótica precisa pela combinação de Máquina de Estados Finitos (FsM) e a tradicional lógica booleana. No entanto, este tipo de resolução torna o modelo pouco expressivo ou pouco fiel aos resultados esperados de um comportamento humano. Em vista deste tipo de problema, uma ótica nebulosa pode ser mais adequada, com a utilização da Máquina de Estados Nebulosa (FuSM). Um exemplo é jogo “The Sims” (WRIGHT, 2000), que utiliza uma FuSM para controlar seus personagens de forma a obter maior fidelidade ao comportamento humano.

1.3 Motivações

Diversos motivos levaram à produção desta dissertação. O primeiro relaciona-se à contribuição para pesquisa em jogos eletrônicos que como vistos na seção anterior, instiga o desenvolvimento de novas técnicas e modelos computacionais. Tal contribuição se dá na parte da Inteligência Computacional e Artificial aplicada a jogos eletrônicos, que infelizmente ainda carece de artigos acadêmicos.

Outro motivo, o mais importante para este trabalho, diz respeito às atuais técnicas aplicadas a modelos de emoções para personagens virtuais de jogos eletrônicos. Em modelos de emoções (PE e PME) recentes (EGGES A., 2003), estado da arte para modelos de emoções, é utilizada como mecanismo de atualização das emoções e estados de espírito uma abordagem linear (com a representação de matrizes e computações) e uma Máquina de Estados Finita, calcada na lógica Booleana, como a responsável por gerar respostas computadas pelo modelo de emoções. FsMs muitas vezes apresentam problemas de comportamento previsível e repetitivo. Além disso, como FsMs são utilizadas a lógica Booleana, acabam por não reproduzir

mudanças de estados emocionais sutis e nem uma mistura de emoções adequada.

Outro aspecto motivador tem relação direta com o advento das atuais placas de vídeo (GPUs), cujo alto poder de processamento gráfico permitiu a utilização de técnicas de animação em tempo real. Animações em tempo real, ao contrário das técnicas de animações pré-processadas, muito utilizadas na produção de filmes, se encaixam perfeitamente a jogos que priorizam a interação com o personagem do jogo, que é o caso deste trabalho.

Por fim, o último motivo está relacionado à escolha da aplicação para a proposta deste trabalho. Em oposição à imensa quantidade de jogos populares, de ação em primeira pessoa, a opção por um jogo que, além do entretenimento contribuísse ao intelecto do jogador foi prioridade. Assim, um jogo eletrônico de xadrez (DRISCOLL, 2005) foi escolhido como tal aplicação. Além disso, como jogos eletrônicos de xadrez apresentam pouca interatividade entre o jogador e o seu oponente (máquina), foi-se resolvido criar um personagem (máquina) que pudesse interagir de algum modo (expressões faciais) com o seu adversário (jogador humano).

1.4 Objetivo

Em vista do problema relacionado as atuais técnicas utilizadas em modelos de emoções (EGGES A., 2003), correspondente ao estado da arte, este trabalho focará no estudo das atuais técnicas de FuSM e irá propor um modelo de emoções (Modelo ME) que apresente propriedades similares a (EGGES A., 2003), com algumas restrições (sessão 4), no entanto, com um comportamento natural e expressivo que explora as sutilezas da lógica Nebulosa e da FuSM.

Ao contrário de (EGGES A., 2003), que utiliza mecanismos de atualização das emoções e estados de espírito implementados sob uma abordagem linear, este trabalho tratará mecanismos de atualização utilizando-se uma abordagem nebulosa a partir de uma FuSM.

A FuSM estará encarregada de transformar dados de eventos, em tempo real, do mundo externo em valores de estados que estejam de acordo com o modelo de emoções ME. Esses valores (graus de pertinência) serão representados sob a forma de expressões faciais no personagem do jogo. No caso deste trabalho, o personagem estará restrito apenas aos eventos de um jogo eletrônico de xadrez.

Devido a não existência de uma métrica que fosse capaz de avaliar o desempenho das expressões faciais para até mesmo realizar um comparativo com a estratégia abordada em (EGGES A., 2003) foram criados casos de teste que mostram certas características do modelo de emoções ME e FuSM propostos neste trabalho como: interação entre estados (emoções e estados de espírito), tempo de duração da atuação de cada estado, transições entre estados e mescla entre diversos estados.

1.5 Metodologia

De forma a cumprir os objetivos deste trabalho foram utilizados dois métodos científicos (DODIG-CRNKOVIC, 2002): Modelagem e Experimental. Entende-se como método científico de Modelagem o estudo de fenômenos do mundo real, reprodução destes fenômenos em um modelo simplificado e testes de comparação do modelo simplificado com o fenômeno do mundo real. Já o método Experimental tem propósito de testar e explorar empiricamente o que as predições teóricas não conseguem alcançar. De acordo com os dois métodos descritos, no primeiro foi desenvolvido um modelo de emoções simplificado com intuito de facilitar os testes computacionais. O segundo método, serviu como base para comprovação empírica das teorias propostas da FuSM que foram aplicadas ao modelo de emoções.

1.6 Organização da Dissertação

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. O capítulo 2 introduz uma história do emprego de FuSMs no contexto acadêmico e comercial para jogos eletrônicos. Adicionalmente, conceitos básicos e uma definição matemática para uma FuSM são apresentados, abordando alguns problemas clássicos que são comumente defrontados durante o processo de implementação. Soluções para estes problemas são estudadas com intuito de impor restrições particulares ao modelo FuSM. No capítulo 3 descrevem-se modelos de emoções para personagens de jogos eletrônicos que serviram como base para este trabalho. Definições matemáticas da representação e do processamento destes modelos são vistas. O capítulo 4 propõe uma nova FuSM que é aplicada a um modelo de emoções simplificado de um modelo visto no capítulo 3. Estudos do capítulo 4 serviram como base para utilização de certas restrições de implementação da FuSM proposta. O capítulo 5 apresenta uma aplicação do modelo proposto em um jogo eletrônico, uma métrica de avaliação e um conjunto de casos de testes. Resultados de experimentos dos casos de teste são analisados. Por fim o capítulo 6 conclui este trabalho, no qual são descritas as dificuldades encontradas, resultados obtidos, contribuições, sugestões para trabalhos futuros e considerações finais.

2 MÁQUINA DE ESTADOS NEBULOSA

“Parte da ausência de humanidade do computador deve-se a que, competentemente programado e trabalhando bem, é completamente honesto. ”

Isaac Asimov

Máquinas de Estados Finitas (FSMs) são ferramentas computacionais muito utilizadas em jogos eletrônicos, principalmente no que diz respeito a modelagem do comportamento de personagens. Jogos eletrônicos como Doom (CARMACK J., 1993) e Quake (CARMACK J., 1996) beneficiaram-se muito deste tipo de técnica, pois esta se demonstrava intuitiva e eficaz para modelagem dos personagens dos jogos na época em que foram desenvolvidos. Por exemplo, no jogo Doom, quando um jogador encontrava-se à distância de ataque de um inimigo, este o atacava. Caso esta condição não fosse estabelecida, o inimigo se aproximava até que estivesse na distância de ataque. Condições binárias como estas eram facilmente modeladas por FsMs e eram satisfatórias para a época. No entanto, com o crescente avanço tecnológico de processamento gráfico, jogos eletrônicos começaram a ficar mais realistas quanto ao visual, mas ainda com técnicas de IA e IC de jogos da antiga geração. Comportamentos previsíveis e repetitivos dos personagens dos jogos anteriores já não satisfaziam o público. Com o passar do tempo, O'brien (O'BRIEN, 1996) chama a atenção de desenvolvedores de jogos e ressalta a necessidade da criação de sistemas de controle com transições mais sutis e que apresentem comportamentos não tão previsíveis e repetitivos. Posteriormente, publicações de IA para jogos (MCCUS-

KEY, 2000) feitas entre acadêmicos e sobre a possibilidade de colaboração entre esses e desenvolvedores de jogos (JOHNSON; WILES, 2001), começaram a ganhar atenção quanto à aplicação em jogos eletrônicos. Técnicas de Lógica Nebulosa e FuSM começaram então a ganhar destaque.

Com intuito de contornar os problemas de repetição e previsibilidade quanto ao comportamento de personagens em jogos eletrônicos, foi criada a FsM Nebulosa (FuSM) (DYBSAND, 2001). Máquinas deste tipo utilizam-se da Lógica Nebulosa nas suas transições de estados e apresentam múltiplos estados ativos (SCHWAB, 2004).

Como consequência, aplicações em jogos eletrônicos começaram a surgir, como por exemplo, no jogo Unreal (jogo de primeira pessoa), objetivando um comportamento mais inteligente (JOHNSON; WILES, 2001) dos inimigos no jogo. Outro exemplo é o jogo “Civilization: Call to Power” que apresenta um conjunto de grupos culturais distintos, em que o uso de FuSMs teve o propósito de embutir uma personalidade característica a cada um desse grupos. Para isso, utilizaram-se de FuSMs em cascata (WOODCOCK, 1999).

Como pode ser visto, FuSMs têm obtido êxito em aplicações de jogos eletrônicos e demonstram ter grande relevância no que diz respeito a modelagem de comportamento para personagens de jogos.

Este capítulo apresenta um estudo do estado da arte, baseado em (DEMASI, 2003), (REYNERI, 1997) e (DYBSAND, 2001), do funcionamento e de técnicas de implementação para uma FuSM. Na seção 2.1 são apresentados os conceitos básicos de representação de uma FuSM. A seção 2.2 descreve matematicamente uma FuSM e suas operações tradicionais. A seção 2.3 aborda alguns problemas de implementação e aplica restrições e soluções para resolução destes.

2.1 Conceitos Básicos

2.1.1 Representação dos Estados

FuSMs apresentam uma maneira peculiar para representação de seus estados. Ao contrário das FSMs, que tratam seus estados baseados nas propriedades das regras da Lógica Booleana (Verdadeiro ou Falso), FuSMs utilizam as regras da Lógica Nebulosa (Lógica Fuzzy) para tal representação. Com isto, os estados dessas FuSMs (Estados Nebulosos) passam a representar valores compreendidos em um intervalo pré-estabelecido pelo desenvolvedor, sendo o mais comum a utilização do intervalo $[0, 1]$ (REYNERI, 1997), no qual 0 representa a ausência do estado e 1 o estado íntegro. A grande popularidade deste tipo de representação deve-se à associação dos valores às medidas percentuais. Isto acaba por tornar a modelagem mais intuitiva e aplicável a muitos problemas.

Cabe ressaltar que a aplicação da Lógica Nebulosa aos estados de FSMs não se deu de forma ingênua. Tal adoção objetivou um maior poder de expressão às FSMs tradicionais em que, ao invés da atuação em um único estado por vez, agora as FuSMs poderiam atuar em múltiplos estados simultaneamente. Esta nova característica das FuSMs foi fator de grande motivação para o emprego destas em diversas aplicações, como visto anteriormente. Na subseção 2.3, serão descritos dois exemplos de FSM e FuSM, respectivamente, de forma a esclarecer este ponto.

2.1.2 Representação das Transições

FuSMs podem tratar suas transições utilizando-se das propriedades da lógica nebulosa. Diferentemente do modo tradicional em que a mudança entre dois estados é encarada apenas como possível ou não (0 ou 1), a FuSM estende este conceito para uma forma multivalorada ($[0, 1]$). Deste modo, valores fracionários de estados podem ser transferidos. Com este tipo de representação, mudanças entre estados tornam-se

mais flexíveis, o que acaba por expressar melhor os problemas a modelar. A seguir um de regra nebulosa associada a uma transição. Seja X e Y conjuntos nebulosos e x e y variáveis, uma transição poderia estar na forma: *if x is X and y is Y then state is S_i* . Em que x is X está no intervalo $[0, 1]$, da mesma forma que y is Y e *state is S_i* . Cabe ressaltar que para este trabalho será adotado para a modelagem, ao invés de regras nebulosas para transições, diretamente valores de entrada no intervalo $[0, 1]$. Este tipo de adoção, se deve aos tipos de eventos utilizados como entrada (não adequados a utilização de regras) para transições da FuSM (capítulo 5). Para o modelo deste trabalho, a FuSM conterá estados nebulosos e transições nebulosas. No entanto, a palavra nebulosa para o modelo está relacionada ao fato de estar no domínio multivalorado, ao invés de 0 ou 1. Conceitos de regras nebulosas e computações destas não serão detalhados neste trabalho. Para maiores detalhes ver em (DEMASI, 2003). Na tabela 2.1 tem-se um comparativo da representação de transições entre uma FSM e uma FuSM.

2.1.3 Exemplo de Aplicação

Para melhor entendimento das representações, vistas anteriormente, um exemplo de um modelo de comportamento (figura 2.1) e suas representações (FSM e FuSM) para um personagem de um jogo de “First Person Shooter” (FPS) serão analisadas. Neste jogo um jogador humano enfrenta o personagem modelado pelo exemplo de FuSM. A seguir, serão descritas duas situações de jogo que estão de acordo com um modelo de comportamento para um personagem de jogo FPS.

Imagine (primeira situação) que o jogador humano caminha pelo ambiente do jogo e de repente é avistado por um inimigo que estava parado e bem distante. Este inimigo, que se encontrava no estado “Ocioso”, passa a perseguir (estado “Perseguindo”) o jogador e quando encontra a uma distância bem próxima a este, pára e começa a atacá-lo (estado “Atacando”). Quando o jogador percebe que está sendo atacado, começa a revidar e acaba por ferir, gradativamente, o inimigo. Este que estava atacando, agora apresenta saúde ruim causada pelo ferimento e tenta se res-

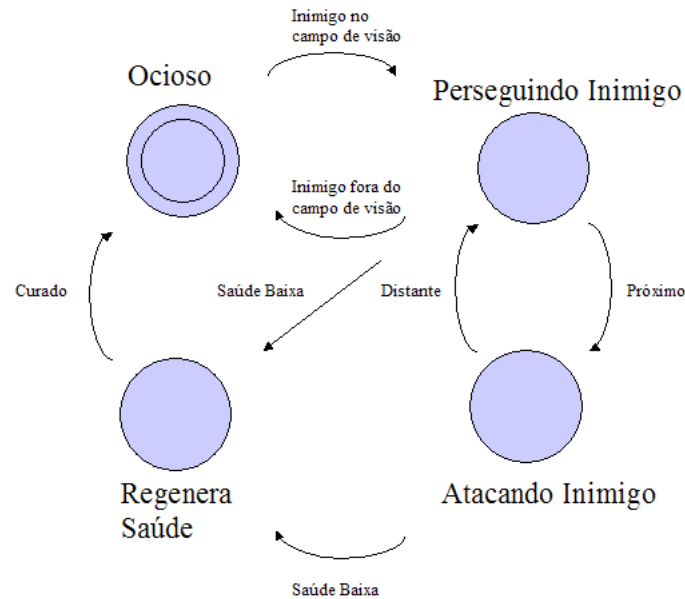


Figura 2.1: Um Exemplo de FuSM para Personagem de Jogo FPS

tabelecer (estado “Regeneração”), deixando de atacar.

Agora (segunda situação), a partir das mesmas condições iniciais da situação anterior, imagine que o inimigo está perseguindo o jogador. Quando o inimigo se aproxima, começa a diminuir sua velocidade e passa a atacar o jogador. Quando o jogador percebe o ataque, começa a revidar e ferir o inimigo. No entanto, ao invés do inimigo parar de atacar para se restabelecer, reduz parte de seu ataque enquanto se restabelece mais lentamente.

Estes dois tipos de situação acabam de descrever duas maneiras distintas de representação para um mesmo modelo de comportamento. Na primeira situação o inimigo é controlado por uma FsM tradicional, enquanto na segunda situação o controle se dá por uma FuSM. Como pôde ser observado, a segunda situação demonstra-se mais coerente e inteligente na maneira de agir mostrando simultaneidade de ações e mudanças de estados suaves em comparação à primeira situação. Nas tabelas (2.1 e 2.2), tem-se um comparativo das duas situações, descritas an-

teriormente, com as suas devidas representações (FSM e FuSM). Para facilitar o entendimento dos exemplos descritos nessas duas tabelas, foram adotados intervalos de valores para os eventos do modelo de comportamento (figura 2.1). O jogador humano será avistado pelo seu inimigo se este encontrar-se a uma distância de até 500 metros. Já para identificar o inimigo como próximo para um possível ataque, será utilizada uma distância de até 5 metros. Por fim, a saúde do inimigo estará compreendida num intervalo de $[0, 1]$. Estes intervalos de valores serão utilizados tanto na FSM quanto na FuSM. No entanto, a FuSM tratará estes valores de forma aproximada.

Tabela 2.1: Comparativo entre FSM e FuSM quanto a Avaliação das Transições

Evento	Avaliação (FSM)	Resultado (FSM)	Avaliação (FuSM)	Resultado (FuSM)	Tempo
Inimigo no Campo de Visão	Dist. $\in [0, 500]$	Verdade	Dentro do Campo de Visão ? (Dist. $\in [\approx 0, \approx 500]$)	Verdade (1.0)	$t = 1$
Inimigo Próximo	Dist. $\in [0, 5]$	Verdade	Inimigo Próximo ? (Dist. $\in [0, \approx 5]$)	Verdade (0.8)	$t = 2$
Saúde Baixa	Saúde $\in [0, 0.5]$	Verdade	Saúde é Baixa ? (Saúde $\in [0, \approx 0.5]$)	Verdade (0.5)	$t = 3$
...	...	...	...	...	...

2.2 Definições

Seja S um conjunto contendo n estados de uma FuSM. Cada estado será representado pelo i -ésimo elemento (S_i) deste conjunto. Para representação do grau de pertinência será utilizada a função $\mu(S_i)$. Para representar as transições dessa

Tabela 2.2: Comparativo entre FsM e FuSM quanto a Evolução de Estados

Evento	Estados (FsM) $\langle \text{Ocio.}, \text{Pers.}, \text{Atac.}, \text{Rege.} \rangle$	Estados (FuSM) $\langle \text{Ocio.}, \text{Pers.}, \text{Atac.}, \text{Rege.} \rangle$	Tempo
$\emptyset$	$\langle 1, 0, 0, 0 \rangle$	$\langle 1, 0, 0, 0 \rangle$	$t = 0$
Inimigo no Campo de Visão	$\langle 0, 1, 0, 0 \rangle$	$\langle 0, 1, 0, 0 \rangle$	$t = 1$
Inimigo Próximo	$\langle 0, 0, 1, 0 \rangle$	$\langle 0, 0.2, 0.8, 0 \rangle$	$t = 2$
Saúde Baixa	$\langle 0, 0, 0, 1 \rangle$	$\langle 0, 0.1, 0.4, 0.5 \rangle$	$t = 3$
...	...	...	...

FuSM, define-se um conjunto T que contém todas as transições entre os estados S_i e S_j . Adicionalmente, será utilizado um subconjunto das transições de T , denominado T_i . Este subconjunto conterá todas as transições t_i^j que saem de S_i chegam a S_j . Será representado, também, de forma análoga a T_i , o subconjunto T_j que conterá todas as transições t_j^i que saem de S_j chegam a S_i .

Para realizar a tarefa de transferência de graus de pertinência do estado S_i para S_j , será utilizado:

$$\mu'(S_j) = \sum_{t_i^j \in T} \mu(t_i^j) \mu(S_i), \quad (2.1)$$

tal que $\mu'(S_j)$ representa o grau de pertinência atual do estado S_j , que foi computado em um instante anterior, a partir do somatório das contribuições dos estados que fazem transição com ele.

2.3 Problemas e Restrições de Implementação

Diversos problemas podem ser encontrados durante a implementação da FuSM. Deve-se estar atento quanto ao tratamento de problemas de implementação ao aplicar algumas restrições, que serão apresentadas a seguir. Abaixo, serão descritos dois dos principais problemas de implementação de uma FuSM.

2.3.1 O Problema da Degeneração

Um dos problemas mais comuns quanto à implementação da FuSM é o da eventual degeneração desta. Dois possíveis problemas de degeneração podem ocorrer. O primeiro ocorre quando o somatório dos graus de pertinência dos estados da FuSM tende a zero ao longo do tempo e o segundo problema ocorre quando, dependendo das regras associadas as transições, o somatório pode ultrapassar o valor de 1. Para contornar estes dois tipos de problema, aplica-se, na inicialização da FuSM, a restrição

$$\sum_{i=1}^n \mu(S_i) = 1.0 \quad (2.2)$$

Cabe ressaltar que esta restrição é natural para FSMs, pois em um caso em que a FSM encontra-se em um estado específico, a restrição (2.2) se confirma. Com esta restrição definida, é estabelecida uma correlação entre FSMs e FuSMs. No entanto, deve-se garantir que a restrição (2.2) seja sempre verificada ao longo da execução da FuSM. Para isso, deve-se aplicar nas transições a seguinte restrição:

$$\sum_{t_i^j \in T} \mu(t_i^j) = 1.0, \quad (2.3)$$

tal que este tipo de restrição, leva ao seguinte lema: de acordo com (DEMASI, 2003), se (2.3) for verificada e os novos graus de pertinência dos estados forem calculados segundo (2.1), então basta que (2.2) seja verificada num instante inicial (ou seja, de inicialização da FuSM) para que seja sempre verdadeira. *Prova:* Veja em (DEMASI, 2003).

Seguindo estas restrições falta apenas a verificação de (2.3) para que seja sempre verdadeira. Dois possíveis problemas podem ocorrer quando se trata das transições da FuSM. O primeiro diz respeito ao somatório de todas as transições que saem de um determinado estado extrapolarem o valor 1. Uma maneira de contornar este tipo de problema, é a aplicação de uma regra de normalização nas transições que saem de um determinado estado, sempre que ocorrer esta extrapolação. Ou seja, se ocorrer:

$$\sum_{t_i^j \in T_i} \mu(t_i^j) > 1.0, \quad (2.4)$$

aplica-se

$$\mu^*(t_i^j) = \frac{\mu(t_i^j)}{\sum_{t_i^j \in T_i} \mu(t_i^j)}. \quad (2.5)$$

O segundo problema, ocorre quando o somatório das transições que saem de um determinado estado é menor do que 1, ou seja:

$$\sum_{t_i^j \in T_i} \mu(t_i^j) < 1.0, \quad (2.6)$$

para este tipo de problema, será utilizado o seguinte um método: O que

faltar para completar o valor 1, permanecerá no estado. Isto faz com que seja uma contribuição para o próprio estado, num instante seguinte.

$$\mu(S_j)(1.0 - \sum_{t_j^i \in T_j} \mu(t_j^i)) \quad (2.7)$$

Note que a auto-contribuição de um estado será sempre o máximo entre (2.7) e 0. Desta forma, esta restrição somente será aplicada quando a soma dos graus de pertinência das demais transições é menor que 1.

2.3.2 O Problema dos Estados Inexpressivos

Se o número de estados (n) da FuSM for muito grande, pode ocorrer uma distribuição de graus de pertinência de estados em que muitos deles sejam pouco representativos. Isto pode levar à inexpressividade do modelo FuSM. Além disso, grandes valores de n podem acarretar em maior complexidade de processamento.

Este tipo de problema pode ser tratado utilizando-se um fator de corte para estados S_i que apresentem valores muito baixos. Deste modo, estes estados não transfeririam seus valores adiante. O problema deste tipo de abordagem é que há a possibilidade da existência de um somatório considerável de pequenos valores que, se não forem considerados, poderão ocasionar uma representação não tão adequada para o modelo de comportamento.

Uma possível alternativa para contornar este último problema seria a introdução de um fator de corte dentro dos estados S_i de modo que, quando o grau de pertinência do estado atingisse certo patamar mínimo, este seria zerado. Para manter a integridade do modelo, um coletor de lixo deveria ser criado para receber estes valores descartados. Cabe ressaltar que este coletor de lixo poderia ser representado por um estado adicional da FuSM ou simplesmente por um estado neutro (estado

inicial) da FuSM. O problema desta segunda solução é que há a possibilidade do coletor de lixo tornar-se um estado guloso.

Outra solução seria remodelar a FuSM e dividi-la em duas ou mais, com valores de n reduzidos, tal que estas FuSMs se comunicassem entre si. Desta forma, seria mantida a integridade do modelo e, além disso, problemas de estados inexpressivos seriam resolvidos. No entanto, a adição de FusMs extras podem tornar o modelo mais complexo, devido a comunicação entre as FusMs.

Como pode-se observar, todas as três soluções apresentam vantagens e desvantagens. Cabe ao pesquisador aplicar a solução que mais se adeque ao seu modelo. Como neste trabalho será utilizado um número reduzido de estados, devido a característica do modelo de emoções empregado, que será visto na sessão 4, o problema da inexpressividade dos estados não será uma barreira para este trabalho.

3 MODELOS DE EMOÇÕES

“Transformar nosso coração e mente é compreender como funcionam os pensamentos e as emoções.”

Dalai Lama

Neste capítulo, na seção 3.1, são introduzidos alguns conceitos básicos para o entendimento de modelos de emoções. Nas seções 3.2 e 3.3, são descritos as definições e o processamento de dois modelos de emoções PE e PME, correspondentes ao estado da arte, de acordo com (EGGES A., 2003), que serviram como material de estudo para este trabalho.

Em se tratando de modelos de emoções, Gratch e Marsella (J. GRATCH J. RICKEL, 2002) (S. MARSELLA, 2005) classificam estes em dois principais grupos: os que tem uma abordagem direcionada à comunicação e os que apresentam uma abordagem direcionada à simulação.

A primeira abordagem utiliza um conjunto reduzido de emoções que sejam perceptíveis, focando no resultado final das expressões faciais. Muitos trabalhos baseados neste tipo de abordagem utilizam-se de um pequeno conjunto de emoções básicas. Ekman (P. EKMAN, 1978) define para seu modelo um subconjunto de emoções que considera como básicas e que combinadas podem representar um conjunto maior de emoções. Geralmente, este tipo de modelo utiliza “morph targets”

ou “pose animation” para representar as emoções sob a forma de expressões faciais (P. EKMAN, 1976), associando estas às emoções básicas (EKMAN, 1982). Sistemas recentes, como Velazques (VELÁSQUEZ, 1997a) utilizaram-se das emoções básicas de Ekman implementando-as em uma face 2D de um bebê (VELÁSQUEZ, 1997b). Além disso, aproveitaram-se dessas emoções básicas para representar as demais emoções, explorando misturas entre elas. Recentemente, modelos mais complexos como Kshirsagar e Thalmann (N. MAGNENAT-THALMANN, 2002) têm utilizado este conjunto reduzido de emoções básicas para uma avaliação final das expressões faciais.

Diferentemente da abordagem direcionada à comunicação, modelos de simulação processam um conjunto de estados (emoções, estados de espírito e personalidade) internos para que expressões faciais sejam geradas. A simulação pode representar processos psicológicos ou mesmo a relação entre os estados emocionais internos do indivíduo. Uma vantagem deste tipo de abordagem é que as diversas configurações possíveis de estados internos proporcionam uma maior variedade de expressões faciais. Para a representação dos estados internos, este tipo de abordagem geralmente utiliza o modelo de emoções “Ortony, Clore and Collins” (OCC) (A. ORTONY, 1998), na subseção 3.1.2, que apresenta um conjunto elevado de emoções e possui uma abordagem de simulação destas emoções. No entanto, tal número elevado de emoções pode fazer com que este tipo de abordagem produza expressões faciais não tão perceptíveis quanto as expressões geradas por um modelo da abordagem direcionada à comunicação.

Existem diversos trabalhos que empregam a abordagem de simulação em combinação com o modelo OCC. Dentre eles pode-se citar (EGGES A., 2003), em que este trabalho se baseia (seção 3.2 e 3.3). Para contornar os problemas de percepção das expressões faciais será adotado um subconjunto de emoções do modelo OCC, como será visto na subseção 3.1.2, de acordo com (MAGNENAT-THALMANN, 2002). Além disso, será utilizada a abordagem da relação entre os estados internos, sem tratar de processos psicológicos da representação destes estados.

3.1 Conceitos Básicos

3.1.1 Personalidade

Embora não seja caracterizada como emoção, a personalidade atua em conjunto com modelos de emoções. A personalidade apresenta um papel importante, pois é a responsável pela representação de características únicas para um indivíduo. Na psicologia, o estudo da personalidade objetiva esclarecer melhor as características do comportamento humano. Além disso, a compreensão da personalidade auxilia psicólogos no tratamento de problemas de distúrbios psicológicos. De forma a estudar o funcionamento da personalidade, diversos modelos foram desenvolvidos ao longo do tempo. No entanto, um dos mais utilizados é o modelo (Modelo dos Cinco Fatores) FFM (O. P. JOHN, 1992).

O modelo FFM divide a personalidade em cinco fatores, dentre os quais um indivíduo pode assumir apenas um deles. Na tabela 3.1, é descrito cada um dos cinco fatores do modelo FFM, assim como as características de comportamento que podem ser associadas a estes fatores.

Além dos cinco fatores fundamentais que caracterizam esse modelo, deve-se ter conhecimento de como a personalidade se comporta no decorrer do tempo. Geralmente, a personalidade é implementada como uma característica genotípica do indivíduo (EGGES A., 2003), ou seja, imutável ao longo do tempo. Pode-se concluir que esta não sofre influências de eventos externos. Tal implementação faz sentido, dada a situação a seguir. Como contra-exemplo, imagine uma população com indivíduos de personalidades distintas, porém mutáveis. Agora coloque esta população enclausurada em um ambiente que apresente eventos que favoreçam somente a um fator, como por exemplo o fator “Extroversão”. Ao longo do tempo, todos os indivíduos tenderiam a uma personalidade semelhante, o que não seria bom para a unicidade de comportamento do indivíduo.

Tabela 3.1: As Cinco Dimensões da Personalidade (Modelo FFM)

Fator	Descrição	Adjetivos
Extroversão	Preferência por situações sociais	Social, Enérgico
Concordativo	Interação com demais	Cooperativo, Amigável, Confiável
Consciente	Organizado e Objetiva Metas	Metodológico, Organizado
Neurótico	Tendência a pensamentos negativos	Emocionalmente perturbado e Inseguro
Aberto	Interessado em Aprender	Criativo, Explorador e Imaginativo

Por fim, é necessário o conhecimento da relação entre a personalidade, estado de espírito (subseção 3.1.1) e as emoções (subseção 3.1.2) de um indivíduo. A personalidade pode ser um dos fatores responsáveis pela influência na intensidade e decaimento do estado de espírito e das emoções do indivíduo no decorrer do tempo. Fazendo uma associação ao modelo FFM, cada fator teria uma intensidade e decaimento específico para cada emoção do indivíduo.

3.1.2 Emoções

De acordo com (P. KLEINGINNA, 1981), emoção pode ser descrita como uma reação a eventos pessoais significativos que pode incluir excitação biológica/excitação fisiológica, mudança nos processos cognitivos, expressão comportamental/social/motora, tendências de atuação e nomeação subjetiva desses sentimentos. Em síntese, o que pode-se extrair desta definição é que emoções são reações causadas tanto pela ocorrência de fatores fenotípicos quanto genotípicos. Cabe ressaltar que as emoções ocorrem, geralmente, em um curto intervalo de tempo (segundos). De forma a aprofundar o estudo de emoções, é necessário saber antes quais os possíveis tipos de emoções existentes, ou ao menos os que podem ser representados e como estas emoções se relacionam com a personalidade e o estado de espírito de um indivíduo.

Tratando-se do relacionamento das emoções, estas podem sofrer influência direta do estado de espírito. Além disso, podem influenciar o mesmo através de um processo cumulativo de contribuições. Já para personalidade, estas só são influenciadas indiretamente, pois o estado de espírito é influenciado pela personalidade.

Quanto à classificação dos diversos tipos de emoções, o mais conhecido é o modelo OCC (A. ORTONY, 1998). Este modelo representa 22 tipos de emoções, classificando estas em dois grupos antagônicos. O primeiro grupo contém emoções consideradas positivas com relação a reação de eventos. Já o segundo grupo apresenta emoções negativas em relação a estes eventos. É importante ressaltar que o modelo OCC também descreve como as emoções são tratadas de acordo com os fa-

tores (eventos) externos e internos. A seguir, na tabela 3.2, tem-se esta classificação, de acordo com o modelo OCC.

Devido à grande quantidade de emoções deste modelo, uma representação computacional utilizando expressões faciais acaba por ser confusa e pouco expressiva. Para isso, um estudo (P. EKMAN, 1978), como visto anteriormente, realizou uma simplificação do conjunto emoções do modelo OCC para um subconjunto mais apropriado para as expressões faciais. Um trabalho de (MAGNENAT-THALMANN, 2002) utilizou-se deste subconjunto e classificou-as como representantes das demais emoções do modelo OCC. A tabela 3.3 a seguir descreve configuração deste subgrupo.

3.1.3 Estado de Espírito

Estados de espírito e emoções são muito parecidos e a distinção entre estes pode ser interpretada de diversas formas. De acordo com (VELÁSQUEZ, 1997a), ambos distinguem-se apenas com relação à excitação. Já em (MAGNENAT-THALMANN, 2002), há uma diferenciação no tempo de duração e de mecanismos de interação destes. Segundo este, estados de espírito apresentam um tempo de duração maior do que emoções. Além disso, estados de espírito podem influenciar e ser influenciados pelas emoções e personalidade.

A representação do estado de espírito também apresenta diversas interpretações. Um artigo (MAGNENAT-THALMANN, 2002), trata o estado de espírito como bi-dimensional (“Bem” e “Mal”). Segundo o estudo, o estado de espírito era representado diferentemente com relação às emoções. Enquanto o estado de espírito equivalia à “Bem” ou “Mal”, as emoções correspondiam a “Felicidade”, “Tristeza” e demais. No entanto, o estado de espírito também pode ser representado com mais de duas dimensões. Estas, que poderiam relacionadas à representação de cada emoção. Por exemplo, as emoções de “Alegria” e “Tristeza” poderiam ser representadas pelos estados de espírito “Estar Alegre” e “Estar Triste”, respectivamente.

Tabela 3.2: As 22 emoções (Modelo OCC)

Emoções Positivas	Emoções Negativas
Feliz por Algo	Ressentido
Regozijo	Piedade
Alívio	Desagrado
Orgulho	Vergonha
Aprovação	Desaprovação
Amor	Ódio
Esperança	Medo
Satisfação	Medo-Confirmado
ilusão	Desapontamento
Recompensa	Remorso
Gratidão	Raiva

Tabela 3.3: As 6 emoções (Modelo de Kshirsagar)

Emoções	Representação no Modelo OCC
Alegria	Feliz por algo, Regozijo, Alegre, Orgulho, Aprovação, Amor, Esperança, Satisfação, Alívio, Recompensa, Gratidão
Tristeza	Ressentimento, Pena, Vergonha, Desapontamento, Remorso
Raiva	Raiva, Reprovação, Ódio
Surpresa	Surpresa
Medo	Medo, Medo-Confirmado
Desgosto	Desgosto

Como pode-se observar, o conceito de estado de espírito as vezes é subjetivo e cabe ao desenvolvedor escolher a interpretação apropriada a sua aplicação.

3.2 O Modelo PE

3.2.1 Definição

Antes de entrar em detalhes quanto à definição do modelo PE (personalidade e emoção), é necessário primeiramente introduzir o conceito de Indivíduo em um modelo de emoções. Um Indivíduo I_t é uma entidade abstrata que sofre constantes mudanças de comportamento ao longo do tempo t . O intervalo $[0, t_f]$ define o tempo de vida deste indivíduo desde sua criação ($t = 0$) até sua destruição (t_f). Cabe ressaltar que as mudanças de comportamento de I_t são ditadas pela combinação de eventos e emoções de um modelo de emoção específico.

No modelo PE, o indivíduo I_t pode ser representado por uma dupla (p, e_t) , tal que p é a personalidade e e_t é o estado emocional (conjunto de emoções) no instante de tempo t . Para a personalidade p de I_t , um vetor n -dimensional será utilizado para uma representação generalizada. Cada dimensão está restrita ao domínio $[0, 1]$, no qual 0 representa ausência e 1 o valor máximo de intensidade da dimensão. Pode-se representar, então, a personalidade p^T (vetor transposto de p) de um indivíduo como sendo:

$$p^T = [\alpha_1 \dots \alpha_n], \forall_i \in [1, n] : \alpha_i \in [0, 1] \quad (3.1)$$

Já o conjunto de emoções e_t apresenta uma estrutura semelhante a p . No entanto, e_t pode variar ao longo do tempo. Para representar e_t , é utilizado um vetor transposto m -dimensional e_t^T :

$$e_t^T = \begin{cases} [\beta_1 \dots \beta_m], \forall_i \in [1, m] : \beta_i \in [0, 1] & \text{Se } t > 0 \\ 0 & \text{Se } t = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

tal que todas as intensidades de emoções estão no intervalo $[0, 1]$. O valor mínimo 0 corresponde à ausência da emoção e o valor 1 indica a intensidade máxima da mesma.

Pode-se representar também, o histórico w_t dos estados emocionais no intervalo $[0, t]$ como sendo

$$w_t = \langle e_0, e_1 \dots e_m \rangle \quad (3.3)$$

3.2.2 Processamento

Para a atualização das emoções é necessária a utilização de um vetor de informação emocional a (influência emocional), que contém a mudança de intensidade desejada para cada uma das m emoções:

$$a^T = [\delta_1 \dots \delta_m], \forall_i \in [1, m] : \delta_i \in [0, 1] \quad (3.4)$$

No caso do modelo PE, a atualização ocorre somente para os estados emocionais, uma vez que a personalidade é considerada imutável. Esta atualização pode ser dividida em duas etapas. A primeira utiliza a função $\Psi_e(p, w_t, a)$, que calcula o estado emocional baseado na personalidade p , no histórico do estado emocional w_t e na influência emocional a . A segunda etapa é feita pela função $\Omega_e(p, w_t)$ que representa a mudança interna dos estados emocionais ao longo do tempo. De acordo com essas duas partes tem-se a função de atualização do estado emocional como sendo:

$$e_{t+1} = e_t + \Psi_e(p, w_t, a) + \Omega_e(p, w_t) \quad (3.5)$$

3.3 O Modelo PME

3.3.1 Definição

Como uma extensão do modelo PE, tem-se o modelo PME (personalidade, estado de espírito e emoção). Este modelo nada mais é do que o modelo PE adicionado da camada de estado de espírito. Para representação deste modelo em um indivíduo I_t utiliza-se a tripla (p, m_t, e_t) , no qual m_t passa a ser a distribuição total do estado de espírito em um instante de tempo t . Como foi visto na seção 3.1, o estado de espírito pode apresentar uma ou mais dimensões. Porém com intuito de generalizar a representação para o modelo PME, ele conterá múltiplas dimensões e será representado por um vetor k -dimensional m_t^T (vetor transposto de m_t):

$$m_t^T = \begin{cases} [\gamma_1 \dots \gamma_k], \forall_i \in [1, k] : \gamma_i \in [-1, 1] & \text{Se } t > 0 \\ 0 & \text{Se } t = 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

tal que cada elemento deste vetor estará sob o domínio do intervalo $[-1, 1]$, no qual 0 representa a ausência e 1 a intensidade máxima do estado de espírito.

De forma análoga a (3.3), pode-se representar o histórico do estado de espírito como sendo:

$$\sigma_t = \langle m_0, m_1 \dots m_n \rangle \quad (3.7)$$

3.3.2 Processamento

Para o modelo PME, a atualização funciona de modo diferente. Após o processamento da influência emocional, a atualização ocorre em duas etapas. A primeira consiste em atualizar o estado de espírito e a segunda o estado emocional. O estado de espírito é atualizado por uma função $\Psi_m(p, w_t, \sigma_t, a)$ que computa as mudanças do estado de espírito de acordo com quatro parâmetros: personalidade p , histórico do estado emocional w_t , histórico dos estados de espírito m_t e influência

emocional a . O estado emocional também leva em consideração a sua atualização interna, utilizando uma função $\Omega_m(p, w_t, \sigma_t)$. Esta atualização, como em (3.5), pode representar o decaimento do estado de espírito no decorrer do tempo. Pode-se então ter uma função completa para atualização do estado de espírito, da seguinte forma:

$$m_{t+1} = m_t + \Psi_m(p, w_t, \sigma_t, a) + \Omega_m(p, w_t, \sigma_t) \quad (3.8)$$

Atualizados os estados de espírito, pode-se agora atualizar o estado emocional. A atualização pode ser feita por uma função estendida Ψ'_e que leva em conta o histórico dos estados de espírito e suas atualizações. Já a atualização interna é realizada por uma função $\Omega'_m(p, w_t, \sigma_t)$ que considera, agora, o estado de espírito como mais um fator de influência. Desta forma, a nova função de atualização do estado de espírito pode ser descrita como:

$$e_{t+1} = e_t + \Psi'_e(p, w_t, \sigma_{t+1}, a) + \Omega_e(p, w_t, \sigma_{t+1}) \quad (3.9)$$

4 MODELO PROPOSTO

“Você realmente não entende algo se não consegue explicá-lo para sua avó.”

Albert Einstein

Neste capítulo será proposta uma FuSM capaz de processar, simultaneamente, um modelo de emoções derivado de PME, com duas camadas (estados de espírito e emoções). A seção 5.1, apresenta definições matemáticas e o processamento do modelo utilizado. Na seção 5.2 é descrita uma representação para o modelo de emoções, utilizando-se conceitos teóricos de FuSM estudados no capítulo 2. Para finalizar o capítulo, na seção 5.3 é feita uma análise das vantagens e desvantagens do emprego do modelo proposto.

4.1 O Modelo ME

4.1.1 Definição

O modelo ME (estado de espírito e emoção) é um subconjunto do modelo PME. Esta classificação de subconjunto se dá pela ausência da camada de personalidade. A adoção dessa exclusão ocorreu pelo fato de que uma a personalidade não apresenta estados similares aos estados de espírito e emoção. Assim, única FuSM

não seria de representar as três camadas (personalidade, estado de espírito e estado emocional). Uma sugestão para utilização da camada de personalidade em conjunto com uma FuSM pode ser encontrada no final deste trabalho (capítulo 6) em que se propõe uma estrutura auxiliar para o tratamento desta camada. Cabe ressaltar, também, que este trabalho, apesar de definir a personalidade, se restringe a modelos de emoções em conjunto com estado de espírito, não entrando em modelos de personalidade.

O modelo ME apresenta duas modificações com relação ao modelo PME. A primeira diz respeito à utilização do histórico das emoções e dos estados de espírito apenas em um instante anterior. Como uma determinada configuração de estados da FuSM depende sempre de uma configuração anterior, a informação passada, indiretamente, estará sempre armazenada. Assim, para a FuSM, não será necessário armazenar todos as mudanças de configuração anteriores, apenas a última configuração. A segunda, trata da representação dos estados de espírito e das emoções em um mesmo conjunto. Agora, ao invés do indivíduo I_t ser representado por uma dupla ou tripla (capítulo 3), este mesmo indivíduo será representado por um conjunto s_t que representa as duas camadas (emoções e estados de espírito). Deste modo, a união de (3.2) e (3.6) será representada por:

$$s_t^T = \begin{cases} [\epsilon_1 \dots \epsilon_k], \forall_i \in [1, k] : \epsilon_i \in [0, 1], \sum_{i=1}^k \epsilon_i = 1, \text{ Se } t > 0 \\ \epsilon_l = 1, \forall_i \in [1, k] : \epsilon_i = 0, i \neq l, \text{ Se } t = 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

tal que ϵ_i representa, simultaneamente, o i -ésimo estado de espírito e emoção. É importante ressaltar a propriedade (2.2) de inicialização da FuSM para o modelo, uma vez que, esta impõe que o somatório de todos os seus estados deve ser igual a 1.

4.1.2 Processamento

Para representação do processamento foi utilizada uma função de transferência específica para o modelo ME. Esta função apresenta como principal característica a transferência gradativa de graus de pertinência entre estados. Adicionalmente, uma função de estado interno (decaimento de valores ao longo do tempo) semelhante a Ω_e foi utilizada. A seguir tem-se a representação do processamento do modelo:

$$s_{t+1} = \{\Psi_s(s_t, \alpha) + \Omega(s_t)\} \quad (4.2)$$

Tal que s_{t+1} representa uma distribuição de valores para conjunto de estados S num instante de tempo t , $\Psi_s(s_t, \alpha)$ representa uma função de transferência de valores que depende da configuração de s e do vetor de influência α (vetor que contém valores dos eventos externos). Já $\Omega_s(s_t)$, representa o decaimento linear no tempo das emoções e dos estados de espírito quando $\Psi_s(s_t, \alpha)$ apresenta-se ocioso.

4.2 Uma FuSM Aplicada ao Modelo ME

Nesta seção, será feita a representação do Modelo ME utilizando-se uma FuSM. Para facilitar a compreensão do leitor, resolveu-se dividir logicamente esta seção em duas partes. A primeira, trata a representação dos estados da FuSM, que descrevem as restrições empregadas para estes estados e uma representação de acordo com o desenvolvimento teórico abordado no capítulo 2. Já a segunda parte, principal, faz uma análise breve da operação de transição usual aplicada em FuSM e sugere uma nova operação, esta que representa a função $\Psi_s(s_t, \alpha)$ do modelo ME.

4.2.1 Estados Nebulosos

Quando se pensa em estado nebuloso, logo vem em mente a associação destes estados com a lógica nebulosa. Esta associação é verdade e tem como intuito realizar

a tarefa que um estado "crisp" não pode realizar. Tal tarefa diz respeito aos valores assumidos pelo estado nebuloso, que aqui se encontrarão dentro de um intervalo, ao invés de se apresentarem apenas valores 0 ou 1, e será esta a característica explorada nesta subseção. Abaixo serão descritas as restrições utilizadas e a representação FuSM para o modelo ME.

Para que sejam definidos os estados nebulosos, é necessário ter-se cautela quanto à escolha da quantidade destes, visto que, em excesso acarretam no problema de inexpressividade (capítulo 2). Como este trabalho utiliza um conjunto reduzido, porém representativo, de emoções e estados de espírito, a inexpressividade dos estados da FuSM não será problema. No caso da necessidade de muitos estados, mais de uma FuSM pode ser utilizada para obter resultados adequados do modelo proposto.

Quanto aos problemas de degeneração (capítulo 2) da FuSM, serão adotadas as restrições (2.2), (2.5) e (2.7). As consequências destas restrições, que serão aprofundadas na seção seguinte, para o modelo ME fazem com que, agora, o somatório dos estados de espírito e emoções seja sempre igual a 1.

Tratando-se da representação de s do modelo ME, será utilizado o conjunto $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, como visto no capítulo 2, de estados nebulosos. Já para os graus de pertinência de cada S_i , será utilizada a função $\mu(S_i)$. Esta restringirá os graus de pertinência ao domínio $[0, 1]$, de forma a não ferir a propriedade 2.2. Além disso, $\mu(S_i)$ será tratado percentualmente para o modelo ME. Por exemplo, um certo grau de pertinência de valor 0.5 corresponderá a 50% do valor máximo que seu grau possa atingir (1). A idéia deste tratamento pode ser justificada por uma relação entre certos estados de espírito. Por exemplo, imagine o caso de um empregado que se encontra pouco concentrado em suas tarefas do trabalho, devido a um problema familiar que o entristeceu. O que ocasiona o baixo valor do estado de espírito para a concentração é o evento que lhe causou tristeza. Este evento provavelmente fez com que ele estivesse mais triste e, conseqüentemente, menos concentrado. De acordo com este exemplo, poder-se-ia ter $S = \{Triste, Concentrado\}$. A representação

dos valores desses estados para os estados de espírito em um determinado instante poderia ser $\mu(S_1) = 0.8$ e $\mu(S_2) = 0.2$, o que nada mais é do que 80% *Triste* e 20% *Concentrado*. Cabe ressaltar que estado de espírito e emoção são colocados sempre na mesma FuSM e, ambos, são representados por um único estado nebuloso. Uma alternativa interessante, seria a utilização de uma FuSM para os estados de espírito e outra para emoções. No entanto, esta estratégia pode ser complexa quanto a integração das duas FuSMs.

4.2.2 Transições

Como foi observado na seção 4.1, estados de espírito e emoções encontraram-se interligados e foram representados pela FuSM como pertencentes a um mesmo conjunto de estados. Utilizando-se (2.1) como operação tradicional, a transferência de graus de pertinência pode ser satisfatória para o estado de espírito, pois este não precisa apresentar uma transição gradativa dentre estados. No entanto, não se pode dizer o mesmo para os estados emocionais. Isto, porque a operação tradicional transfere de uma única vez todo o grau de pertinência de um estado ao outro, porém, isso causa um salto abrupto de graus de pertinência entre estados emocionais, que acaba refletindo em expressões faciais pouco naturais. A solução para este problema foi propor uma função de transferência de graus de pertinência $\Psi(s_t, \alpha)$ que suavizasse essa mudança de estados. Esta suavização seria feita através de sucessivas operações de transição (2.1) com valores constantes.

Além do problema da suavidade nas transições entre estados, tem-se o problema da relação entre emoções e estados de espírito. Tanto emoções como estados de espírito, como visto na seção 3, possuem um comportamento integrado. Emoções influenciam e são influenciadas pelos estados de espírito bem como o oposto.

Adicionalmente, como o modelo ME é capaz de expressar em um único instante mais de um estado (estados de espírito e emoções) a função de transferência deve atuar, simultaneamente, em diversos estados da FuSM de forma a proporcionar

mesclas de estados.

Primeiramente, para o problema da suavização das transições, a função $\Psi(s_t, \alpha)$ dividirá o grau de pertinência a ser transferido, visto mais adiante, em pequenos pedaços (pacotes p) de tamanhos iguais. Cada pacote p será transferido em um intervalo de tempo de tempo Δt . Cabe ressaltar que Δt deve ser reduzido a um valor que torne a discretização do tempo adequada à representação do modelo ME.

Ainda tratando o aspecto da suavidade das transições, uma pergunta que pode vir em mente: como transferir valores constantes de p , utilizando-se das tradicionais operações de transição? A solução para este problema foi a representação da transição como sendo:

$$\mu(t_i^j) = \frac{p}{\mu(S_i)}, \quad (4.3)$$

Note que o grau de pertinência do estado S_i encontra-se no denominador para que seja cancelado quando utilizado na operação tradicional. Desta forma, valores constantes p podem ser repassados para um estado de destino S_j . É claro que, quando $\mu(S_i) = 0$ pode ocorrer uma divisão por zero e o grau de pertinência da transferência ser igual a infinito. No entanto, isto não é problema grave para o modelo, pois não há transferência de graus de pertinência quando o estado apresenta seu grau igual a zero. Assim, esta fórmula nunca é utilizada quando o grau de pertinência do estado que transfere é igual a zero, o que faz sentido, pois não quer-se graus negativos para os estados da FuSM.

Para o problema de relação entre estados de espírito e emoções, foi necessário que $\Psi(s_t, \alpha)$ calculasse tanto as transferências de valores para as emoções quanto para os estados de espírito. De forma a esclarecer melhor a execução da função de transferência, esta será dividida em duas etapas: emoções e estados de Espírito.

Na etapa de execução das emoções, a função $\Psi(s_t, \alpha)$ se preocupa em trans-

ferir os pacotes p em um tempo tal que as expressões faciais sejam satisfatórias. Para explicar melhor a introdução da palavra "satisfatória", pode-se dar o exemplo a seguir: imagine que uma pessoa ao terminar de sorrir, apenas continue com seu rosto contraído no ponto máximo da expressão facial. Esta situação não ocorre na prática, no qual o que se tem é a expressão do sorriso dividida em uma fase crescente e outra, posterior, decrescente. Desta forma, a transferência de p se dará bidirecionalmente (fase crescente e decrescente). Na fase crescente, vários estados de origem S_i enviam parte do seu grau de pertinência a um único estado de destino S_j . Ao término desta fase, entra em operação a fase decrescente. Nesta, o sentido de envio de pacotes p é invertido. Agora, o estado S_j envia parte de seu grau de pertinência, conforme será visto adiante, que recebeu (na fase crescente) para os diversos estados S_i (fase decrescente).

Já na etapa dos estados de espírito, tem-se a representação do efeito cumulativo causado pelas emoções. Este efeito ocorre na fase decrescente da transferência de valores. Nesta etapa, uma função $g(.)$ (capítulo 5) recebe um evento externo (capítulo 5) e a partir deste calcula o incremento do grau de pertinência do estado de destino S_j .

Com relação à simultaneidade de estados da $\Psi(s_t, \alpha)$, esta ocorre nas duas fases. Na fase crescente, vários estados de origem contribuem para um único estado de destino. Na fase decrescente, ocorre o oposto. Este esquema foi adotado pelo fato de que eventos externos foram interpretados como de ocorrência não-simultânea. Por exemplo, eventos que causam felicidade não ocorrerão simultaneamente com eventos que causam surpresa. Mais detalhes a respeito de tal interpretação poderão ser vistos adiante no capítulo 5.

Uma descrição matemática do modelo proposto é apresentado a seguir, em que utiliza (4.3) na operação de transição tradicional:

$$\text{Se } \left\{ \begin{array}{l} \mu^k(S_j) < \mu^0(S_j) + g(.) + c \\ \mu^k(S_i) > 0 \\ i = 1, n; i \neq j \end{array} \right. \quad \text{tem-se}$$

$$\mu^k(S_i) = \mu^{k-1}(S_i) - p, \quad (4.4)$$

para os estados que irão enviar os graus de pertinência e

$$\mu^k(S_j) = \mu^{k-1}(S_j) + lp, \quad (4.5)$$

para o estado que irá receber os graus de pertinência. Pode-se chegar na fórmula (4.4) através das seguintes etapas de operações da FuSM:

$$\mu^k(S_j) = \mu^{k-1}(S_j)(1.0 - \sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i)) + \sum_{t_i^j \in T} \frac{p}{\mu^{k-1}(S_i)} \mu^{k-1}(S_i) = \mu^{k-1}(S_j) + lp, \quad (4.6)$$

sendo que $\sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i) = 0$, pois o estado S_j não envia graus de pertinência.

Da mesma forma que para se chegar em (4.5) tem-se

$$\mu^k(S_i) = \mu^{k-1}(S_i)(1.0 - \frac{p}{\mu^{k-1}(S_i)}) + \sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i) = \mu^{k-1}(S_i) - p, \quad (4.7)$$

sendo que $\sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}t_j^i = 0$, pois o estado S_i não está recebendo nenhum grau de pertinência no momento, apenas está enviando. Cabe observar que (4.4) e (4.5) representam a fase crescente de transferência de pacotes p dos estados S_i ao estado S_j , $\mu^k(S_j) = \mu(S_j)$ em um instante k , n é o número total de estados no qual pacotes são enviados, l é o número de estados que estão enviando pacotes p ao estado j e c é uma constante que dita o grau de pertinência máximo que $\mu^0(S_j) + g(.)$ pode atingir. Quanto maior o estado de espírito inicial, maior será o ponto máximo da

expressão facial. Note que a escolha de c deve ser cautelosa para que haja uma boa distinção entre valores baixos e altos de estados de espírito. Um valor próximo a 0.7 seria razoável para esta constante, uma vez que o máximo que um grau pode atingir é 1 e supondo uma contribuição de estado mínima de estado de espírito em 0.1. Por exemplo, com uma contribuição mínima de 0.1, tem-se o ápice da expressão facial, para um estado receptor (estado que receberá todos os graus de pertinência dos demais estados), como sendo a soma da contribuição do estado de espírito final 0.1 com a constante $c = 0.7$, ou seja, o estado receptor teria valor igual a 0.8 em graus de pertinência.

$$\text{Se } \begin{cases} \mu^0(S_i) > \mu^k(S_i) \\ \mu^k(S_j) > \mu^0(S_j) + g(.) \\ i = 1, n; i \neq j \end{cases} \text{ tem-se}$$

$$\mu^k(S_i) = \mu^{k-1}(S_i) + p, \quad (4.8)$$

para os estados que irão enviar os graus de pertinência e

$$\mu^k(S_j) = \mu^{k-1}(S_j) - lp, \quad (4.9)$$

para o estado que irá receber os graus de pertinência. Pode-se chegar a (4.8) através das seguintes etapas de operações da FuSM:

$$\mu^k(S_i) = \mu^{k-1}(S_i)(1.0 - \sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i)) + \frac{p}{\mu^{k-1}(S_i)} \mu^{k-1}(S_i) = \mu^{k-1}(S_i) + p, \quad (4.10)$$

de modo que $\sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i) = 0$, pois o estado S_i não envia graus de pertinência no momento, apenas recebe. Da mesma forma que para se chegar em (4.9) tem-se:

$$\mu^k(S_j) = \mu^{k-1}(S_j)(1.0 - \frac{lp}{\mu^{k-1}(S_j)}) + \sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i) = \mu^{k-1}(S_j) - lp, \quad (4.11)$$

sendo que $\sum_{t_j^i \in T} \mu^{k-1}(t_j^i) = 0$, pois o estado S_j não recebe graus de pertinência no momento, apenas envia. Cabe observar, também, que (4.8) e (4.9) representam a fase decrescente ($i \leftarrow j$) da transferência de pacotes do estado S_j aos estados S_i e $g(\cdot)$ computa um valor de incremento para S_j entre $[0, 1]$, baseado em eventos externos.

A seguir, tem-se um exemplo do funcionamento de $\Psi(s_t, \alpha)$, ilustrado de acordo com as duas fases de transferência. As figuras 4.1 e 4.2 mostram a fase crescente da transferência de valores, enquanto as figuras 4.3 e 4.4 tratam da fase decrescente. Cabe ressaltar que, para o exemplo será feito $c = 0.7$ com expressões atingindo seu ápice quando $S_j = 1$.

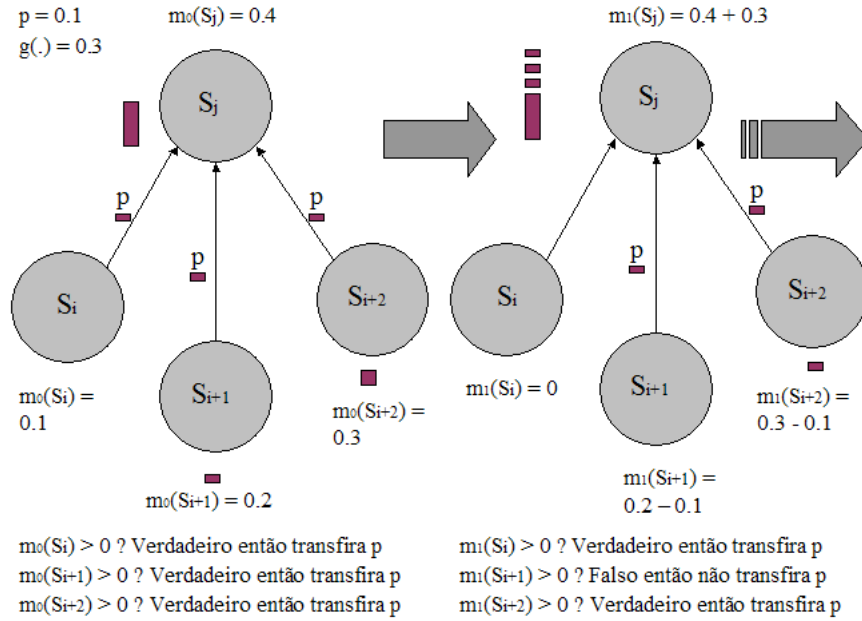


Figura 4.1: Tranferência de Pacotes ($i \rightarrow j$)

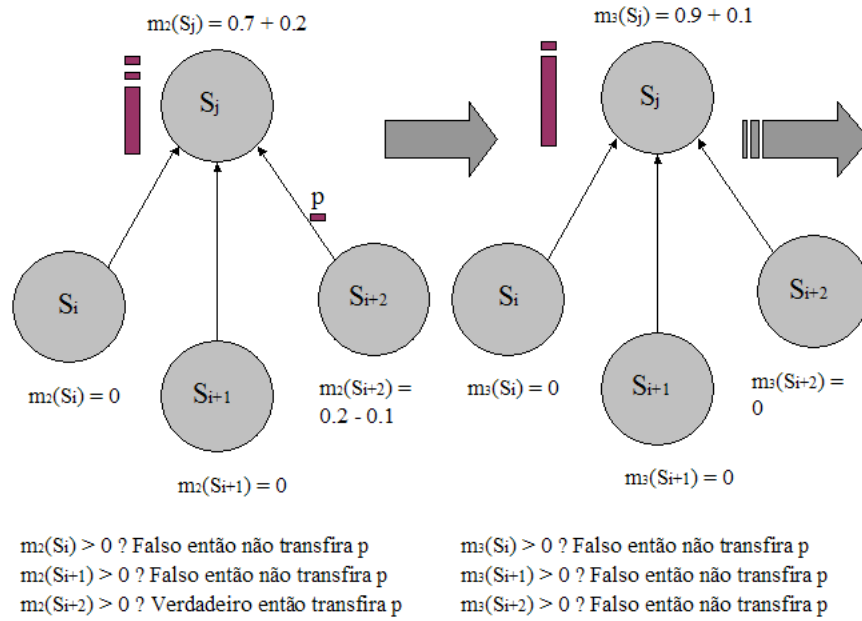


Figura 4.2: Transferência de Pacotes ($i \rightarrow j$)

Na fase crescente ($i \rightarrow j$), um S_j é populado com pacotes p provenientes dos vários S_i . Quando S_j apresentar $\mu(S_j) = 1$, ou seja, quando não houver mais contribuição dos vários S_i , a fase crescente acaba e inverte-se o sentido de transferência de pacotes.

Na fase decrescente ($i \leftarrow j$) pacotes p são transferidos para os estados S_i enquanto $\mu^k(S_j) > \mu^0(S_j) + g(\cdot)$ seja satisfeito. Note que cada S_i receberá pacotes enquanto $\mu^0(S_i) > \mu^k(S_i)$.

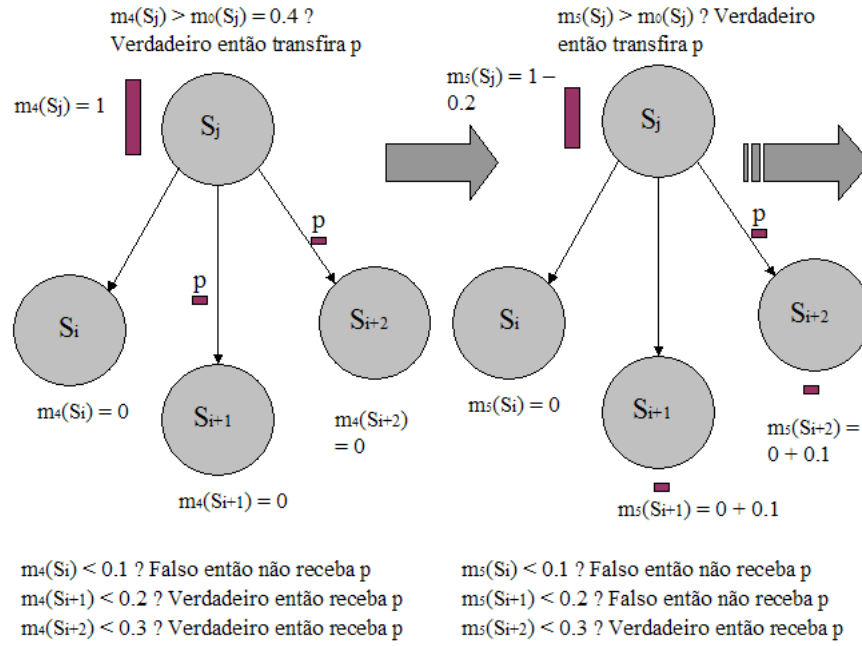


Figura 4.3: Tranferência de Pacotes ($i \leftarrow j$)

4.3 Análise do Modelo Proposto

4.3.1 Vantagens

A utilização de uma FuSM para o modelo ME apresenta algumas vantagens que devem ser mencionadas. Apesar de estado de espírito e emoções ficarem em um mesmo conjunto de estados, o que difere do modelo PE e PME, a utilização destes em conjunto possibilita um funcionamento mais harmônico entre eles. Outro aspecto importante diz respeito à suavidade da transição entre os estados da FuSM, que acaba por enriquecer o poder de expressão do modelo ME. Por fim, deve-se mencionar também a facilidade de implementação de uma FuSM para um modelo de emoções, que se dá de forma quase que intuitiva ao problema.

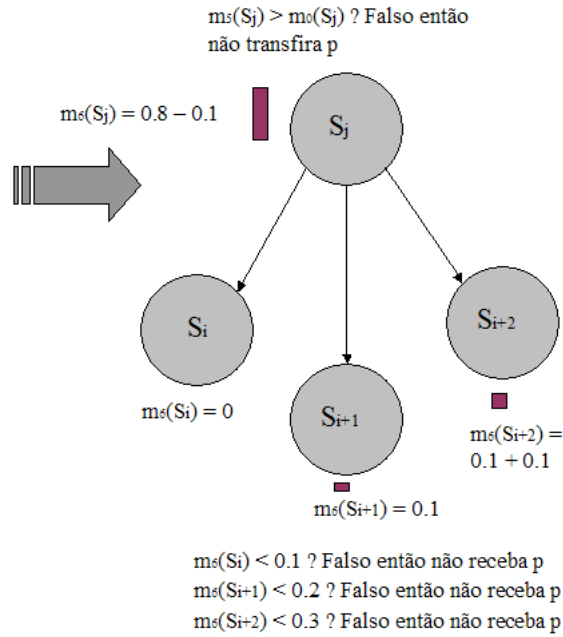


Figura 4.4: Tranferência de Pacotes ($i \leftarrow j$)

4.3.2 Desvantagens

Apesar de benefícios do modelo proposto, este apresenta algumas limitações. Uma delas se dá pela restrição (2.2), que impõe que as emoções sejam tratadas percentualmente. Este tipo de restrição pode acabar em alguns casos dificultando a implementação do modelo. No caso em que o desenvolvedor queira utilizar emoções ou estados de espírito que possam assumir valores iguais a 1, simultaneamente, será necessário utilizar mais de uma FuSM para representação ou pelo menos outra estrutura independente da FuSM.

Além deste tipo de limitação, é importante mencionar que, quando estados (emoções e estados de espírito) apresentam domínios distintos, torna-se complexa a utilização destes estados num mesmo conjunto da FuSM. Uma alternativa, que serve como trabalho futuro, seria separar por FuSM estado de espírito de emoções. No entanto, o problema acaba sendo repassado para o relacionamento entre as FuSMs.

5 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

“Projetos relâmpagos falham, pois são baseados na teoria de que com nove mulheres grávidas pode-se ter um bebê por mês.”

Wernher Von Braun

Neste capítulo, na seção 5.1 são descritas as ferramentas de implementação utilizadas para realização dos experimentos. Adicionalmente, é apresentada uma aplicação do modelo proposto em um personagem para um jogo eletrônico de xadrez, em que são mostradas possíveis reações aos lances desse jogo. Na seção 5.2 são propostos alguns casos de testes e análise destes de acordo com situações de jogo.

5.1 Implementação do Personagem no Jogo

De forma a demonstrar a eficácia da FuSM proposta, foi criado um personagem para um jogo de xadrez (OGREChess(DRISCOLL, 2005)) que representa o adversário do jogador. Este personagem reage sob a forma de expressões faciais de acordo com lances do jogo. Para animação dessas expressões faciais, foi utilizada a técnica de “pose animation” (subseção 6.3), para “renderização” dos gráficos foi utilizado OGRE(SINBAD, 2001) e para o processamento da FuSM foi utilizada uma biblioteca de máquina de estados nebulosa FuSMLib. Informações detalhadas das

três ferramentas utilizadas podem ser encontradas no apêndice A deste trabalho.

5.1.1 Comportamento do Personagem no Jogo

A idéia para o comportamento do personagem é que este reaja a três tipos de lances característicos: *Xequê*, *GanhoMaterial* e *PerdaMaterial*. Para *Xequê*, quando o personagem sofrer este tipo de lance, este demonstrará a expressão facial de surpresa. Para lances de ganho material, quando o personagem apresentar um ganho de peça, este apresentará a expressão facial de felicidade. Por fim, se o personagem realizar um lance de jogo em que houve uma perda de material, este apresentará uma expressão facial de raiva.

5.1.2 Representação das Emoções e Estados de Espírito do Personagem

De forma a reproduzir o comportamento do personagem, mencionado anteriormente, a FuSM conterá um total de $n = 4$ estados (estados de espírito e emoções) e $n * (n - 1) = 12$ transições, de modo que para os estados tem-se:

$$S = \{Concentrado, Surpreso, Feliz, ComRaiva\} \quad (5.1)$$

dos quais três desses estados (*Surpreso*, *Feliz*, *ComRaiva*) correspondem aos estados do modelo de (MAGNENAT-THALMANN, 2002). Já para as transições, a representação é dada por:

$$T = \{GanhoMaterial, PerdaMaterial, Xequê, Tempodejogo\} \quad (5.2)$$

Quanto à relação entre os estados e as transições, tem-se o diagrama (figura 5.1) a seguir:

De acordo com a figura 5.1, lances do jogo caracterizados como xequê estarão associados a transições que chegam ao estado *Surpreso*. Para material, lances que representam ganho material estarão relacionados às transições que chegam ao estado

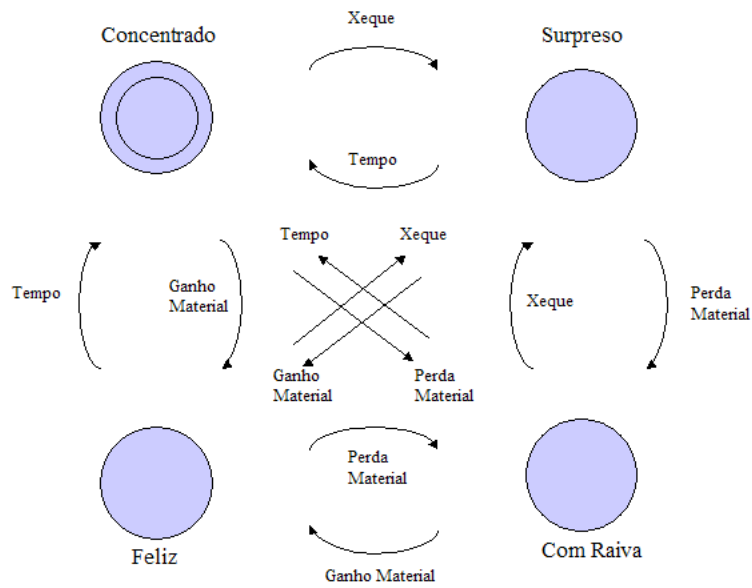


Figura 5.1: Implementação da FuSM para o Modelo ME

Feliz, enquanto as que representam perda material estarão associadas as transições que chegam ao estado *ComRaiva*.

5.1.3 Técnica de Animação Utilizada

De forma a animar as expressões faciais do personagem do jogo, foi utilizada a técnica de animação em tempo real por pose. Este tipo de técnica faz uso de múltiplas poses discretas que podem ser expressas sob a forma de vértices. A idéia deste tipo de técnica é a de utilizar uma malha de vértices base e outras malhas que serão os vértices alvos. Estes vértices alvos correspondem a mudanças de posição do conjunto de vértices base. Na figura 5.2 são ilustradas as quatro poses discretas (*Feliz*, *ComRaiva*, *Concentrado*, *Surpreso*) que foram utilizadas para as expressões faciais do personagem.

Uma vez definidas as poses, já é possível referenciá-las e atribuir valores per-

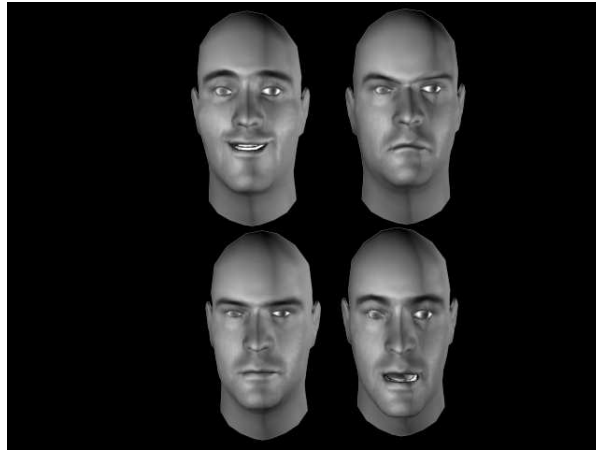


Figura 5.2: Targets

centuais a cada malha de vértices alvo. Note que este tipo de animação é computada sempre em tempo real. Neste trabalho, não foi utilizada nenhuma animação pré-processada, como feita em filmes de animação, e sim em tempo real. Este tipo de técnica proporciona uma maior gama de expressões faciais, visto que, se fossem previamente processadas, todas as combinações de animação (infinitas) deveriam ser armazenadas em um banco de dados.

5.1.4 Extração e Avaliação de Características do Jogo para o Personagem

Para que o personagem do jogo se comporte de acordo com os lances do jogo de xadrez, é necessário que este consiga avaliar os lances. Para isso, o personagem utiliza uma função para avaliação do motor do jogo que pode ser descrita da seguinte forma:

$$f(tabuleiro_k) = material(tabuleiro_k) + xequ_e(tabuleiro_k) \quad (5.3)$$

tal que

$$material(tabuleiro_k) = \begin{cases} 1 * d_p + 3 * d_c + 3 * d_b + 5 * d_t \\ + 9 * d_{ra} + 100 * d_r \end{cases} \quad (5.4)$$

em que $d_p, d_c, d_b, d_t, d_{ra}, d_r$ correspondem às diferenças do número de peças de Peões,

Cavalos, Bispos, Torres, Rainha e Rei, respectivamente entre jogador e personagem. Por exemplo, se $d_p = -1$ que dizer que a máquina possui um peão a mais. De forma análoga, se $d_p = 1$ o jogador humano possui um peão a mais. Já para $xequ_e(tabuleiro_k)$ esta avalia a configuração do tabuleiro e verifica se um dos jogadores está em xeque. Note que, para este trabalho leva em conta apenas o ganho ou perda material como avaliação do tabuleiro do jogo, devido as limitações do motor do jogo utilizado. Um possível trabalho futuro, seria inserir um motor de jogo que apresentasse uma função de avaliação mais poderosa, com características posicionais de jogo, por exemplo.

Com as características dos lances do jogo avaliadas, é preciso agora associar estas à função $g(\cdot)$, que corresponde ao valor da função de avaliação do tabuleiro, para que a função de transferência atue adequadamente no incremento do estado de espírito. Assim, aplica-se à função $g(\cdot)$ as características do tabuleiro:

$$g(f(tabuleiro_k), f(tabuleiro_{k-1})) = (f(tabuleiro_k) - f(tabuleiro_{k-1})) \quad (5.5)$$

O que pode-se notar é que quanto maior a diferença material entre duas configurações de tabuleiro seguintes (lance), maior será o incremento do estado de espírito. O que faz sentido para o comportamento do personagem. O contrário também é válido.

5.2 Casos de Teste

Para comprovar empiricamente o funcionamento da FuSM proposta, foram criados quatro casos de teste com situações do jogo de xadrez. O primeiro caso ilustra algumas situações em que há uma mescla de emoções e estados de espírito no personagem. O segundo caso representa o efeito cumulativo causado pelas emoções nos estados de espírito. Adicionalmente, mostra a influência dos estados de espírito

no funcionamento das emoções. O terceiro caso explora a função de transferência proposta neste trabalho, com intuito de mostrar a suavidade das mudanças entre estados da FuSM. O quarto e último mostra o decaimento dos estados de espírito, ou seja, quando o personagem encontra-se ocioso no jogo, os estados da FuSM transferem gradativamente seus graus de pertinência para o estado inicial (*Concentrado*). É importante observar que os testes computacionais foram reproduzidos em figuras que representam as reações do jogador sob a forma de expressões faciais. Cada figura ilustra lances importantes do jogo que afetam seu comportamento. De forma a facilitar a compreensão e análise dos casos de teste, cada figura apresenta cinco campos de informação. Os quatro primeiros campos representam os graus de pertinência dos estados da FuSM e o último campo representa um valor relativo para pontuação do jogo de xadrez.

5.2.1 Caso de Teste 1 - Mescla de Estados

A seguir tem-se três fragmentos de partidas distintas de um jogo. Na figura 5.3, o personagem apresentava-se em vantagem material (estava com parte dos seus graus de pertinência no estado *Feliz*) devido ao ganho de dois peões. No entanto, o seu adversário ganha um cavalo. Pode-se notar a predominância do estado *ComRaiva* com relação ao estado *Feliz* devido a situação desfavorável em que se encontra no jogo. A figura 5.4 mostra uma possível continuidade do jogo com um xeque efetuado contra o personagem, que já estava em situação desfavorável. O que pode-se notar é que a FuSM se encarrega de transferir parte dos graus de pertinência dos outros estados para o estado *Surpreso*. Agora o personagem apresenta uma mescla de três estados: *ComRaiva*, *Feliz* e *Surpreso* com predominância do estado *ComRaiva* devido a situação desfavorável de jogo. Já a figura 5.5 apresenta uma partida distinta da anterior. Nesta, o personagem que estava em situação favorável sofre um xeque de seu adversário. Tal lance o põe em configuração de expressões faciais *Feliz* (estado da situação anterior ao lance) e *Surpreso* (xeque), com predominância do estado *Feliz* devido a situação, ainda, favorável.

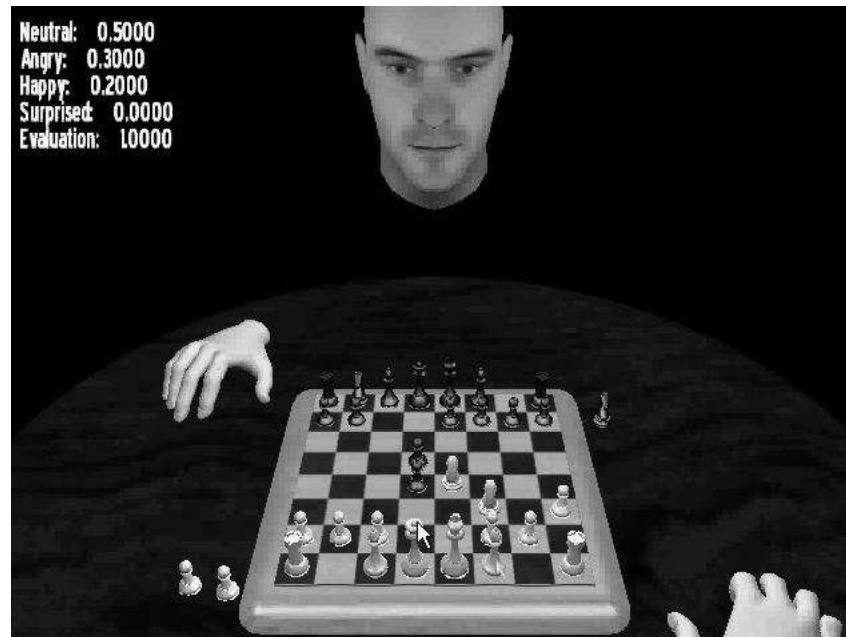


Figura 5.3: Personagem em desvantagem material

5.2.2 Caso de Teste 2 - Interação entre as Emoções e os Estados de Espírito

A seguir é mostrado a influência que o estado de espírito causa no ponto máximo atingido pela expressão facial que corresponderia a uma emoção. Além disso, é mostrado o efeito cumulativo causado pela emoção no estado de espírito. Serão ilustradas, a seguir, duas situações de jogo: perda material e ganho material. Na situação de perda material, é mostrado o efeito cumulativo da emoção no estado de espírito. Para a primeira situação, tem-se a situação inicial de jogo representada pela figura 5.6. Posteriormente a este lance, com a perda de um peão na figura 5.7, o estado de espírito *ComRaiva* é incrementado de 0.1 (grau de pertinência). Após alguns lances o personagem perde, também, um cavalo (figura 5.8), tendo seu estado de espírito *ComRaiva* incrementado de 0.3. O que pode-se notar é que as sucessivas atuações da emoção contribuem para que o estado de espírito seja maior. Já para mostrar a influência do estado de espírito na emoção, tem-se a situação inicial de



Figura 5.4: Personagem em desvantagem material e em xeque

jogo dada pela figura 5.9. Durante o ganho de um cavalo (figura 5.10), o personagem apresenta 0.8 do ponto máximo da expressão facial ficando com o estado de espírito incrementado de 0.3 (figura 5.11). Após outro lance favorável (ganho de um peão), o personagem apresenta aproximadamente (figura 5.12) 0.9 do ponto máximo da expressão facial. O que pode-se observar é que quanto maior o estado de espírito para um determinado estado, mais próximo do ponto máximo da expressão facial aquela emoção estará.

5.2.3 Caso de Teste 3 - Suavidade Quanto a Mudança de Estados

Este caso de teste mostra o comportamento bidirecional (fases crescente e decrescente) da transferência dos graus de inclusão entre os dois estados. Para isso, será mostrado a expressão facial do personagem quando este se encontra em ganho material de um simples peão. A figura 5.13 mostra a situação inicial, antes do ganho da peça. A figura 5.14, mostra um instante que corresponde à fase crescente

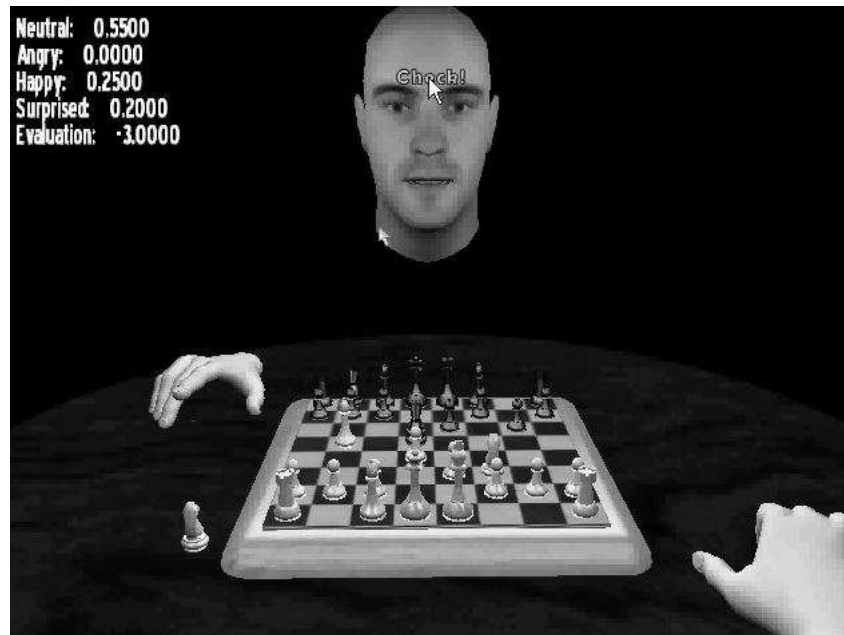


Figura 5.5: Personagem em vantagem material e em xeque

da expressão facial com ápice da expressão na figura 5.15. Já na fase decrescente, pode-se ver a queda das expressões faciais nas figuras 5.16 e 5.17.

5.2.4 Caso de Teste 4 - Decaimento no Tempo dos Estados de Espírito

Este caso de teste ilustra o comportamento do personagem quando este apresenta-se ocioso, ou seja, na ausência de lances do jogo. A figura 5.18 mostra a situação inicial em que o personagem apresentava-se com grau de inclusão de aproximadamente 0.3 para o estado *Feliz*, 0.1 para o estado *ComRaiva* e 0.6 para o estado *Concentrado*. Com o passar do tempo, com personagem ocioso, os estados *Feliz* e *ComRaiva* passam a transferir seus graus de inclusão para o estado padrão *Concentrado*. Esta situação pode ser observada nas figuras 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22.

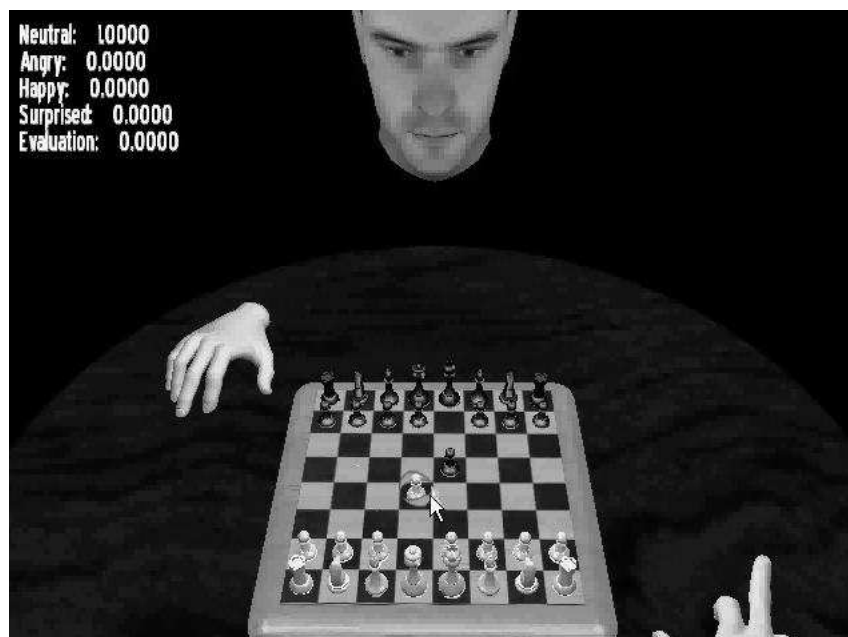


Figura 5.6: Antes da desvantagem material - situação inicial

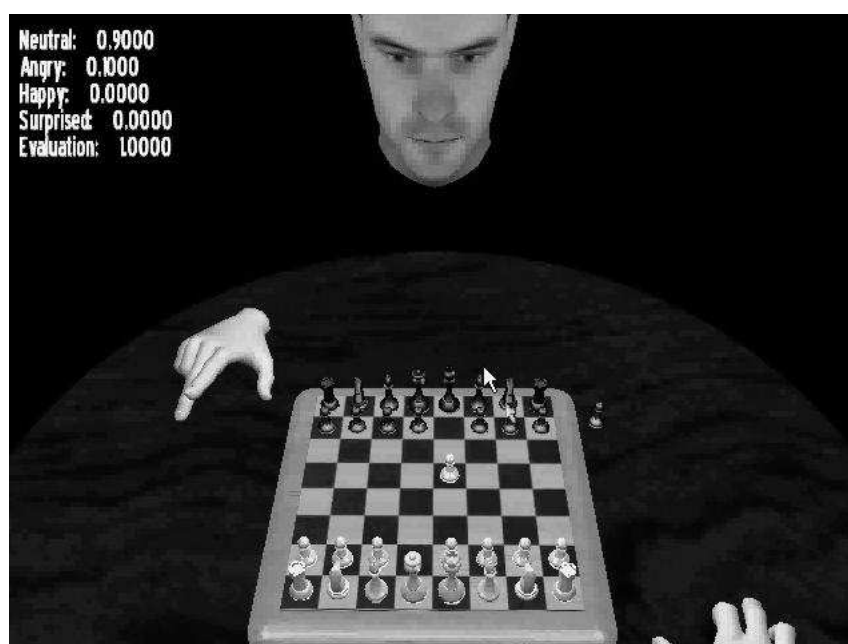


Figura 5.7: Personagem em desvantagem material - peão capturado

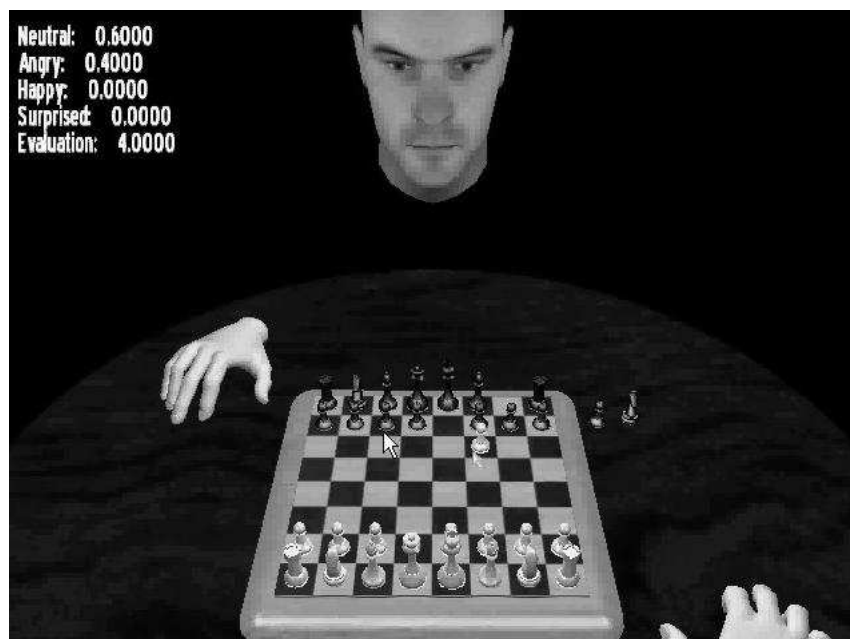


Figura 5.8: Personagem em desvantagem material - cavalo capturado



Figura 5.9: Antes da vantagem material - situação inicial

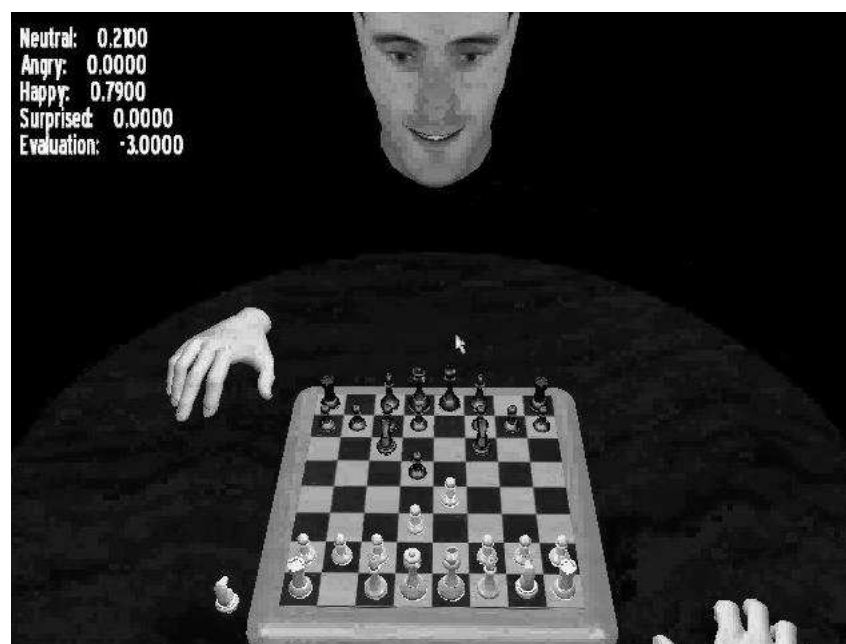


Figura 5.10: Personagem em vantagem material - capturando um cavalo

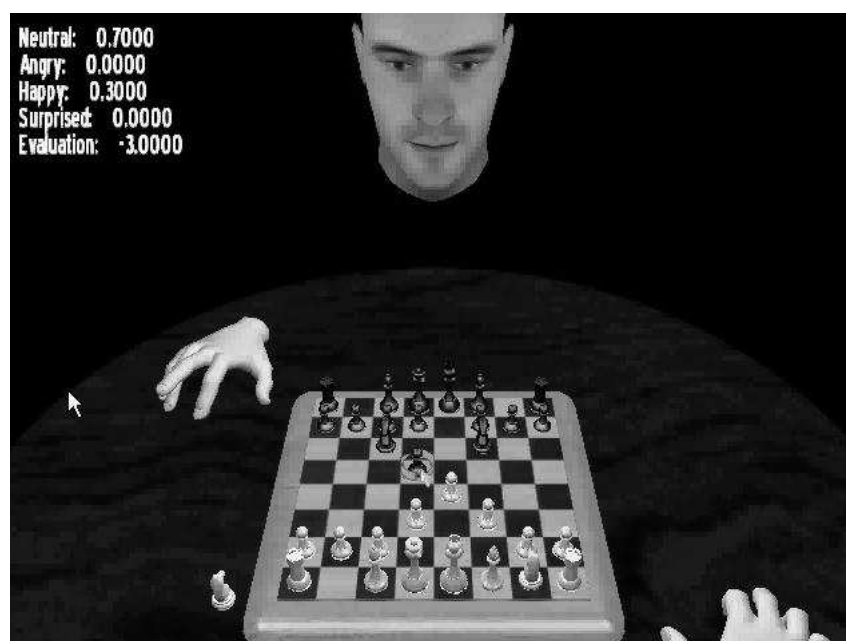


Figura 5.11: Personagem em vantagem material - após a captura do cavalo

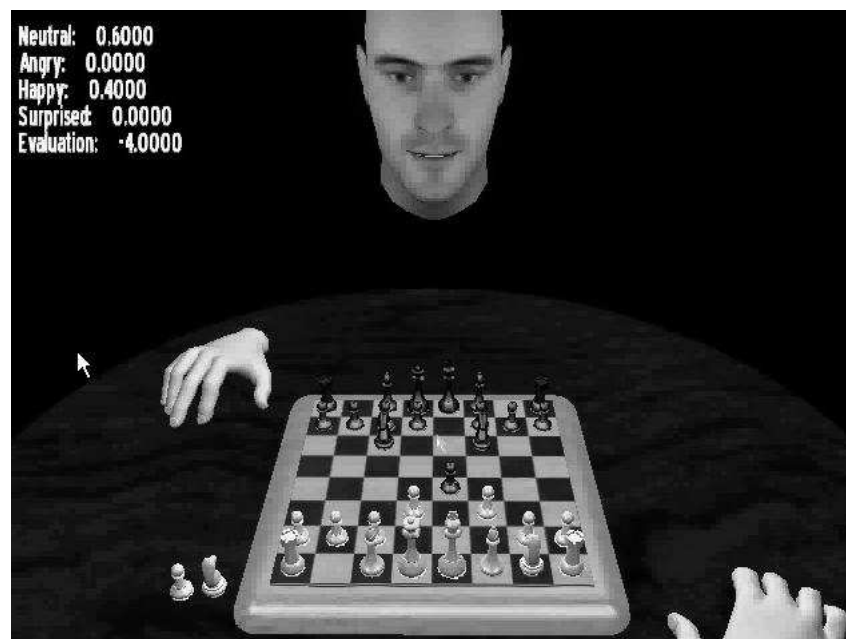


Figura 5.12: Personagem em vantagem material - capturando um peão

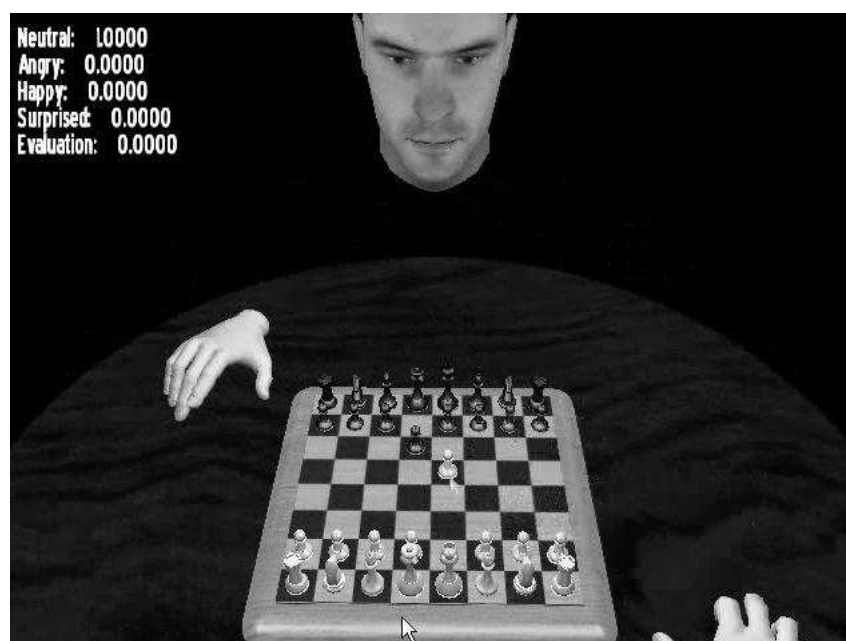


Figura 5.13: Antes da vantagem material - situação inicial

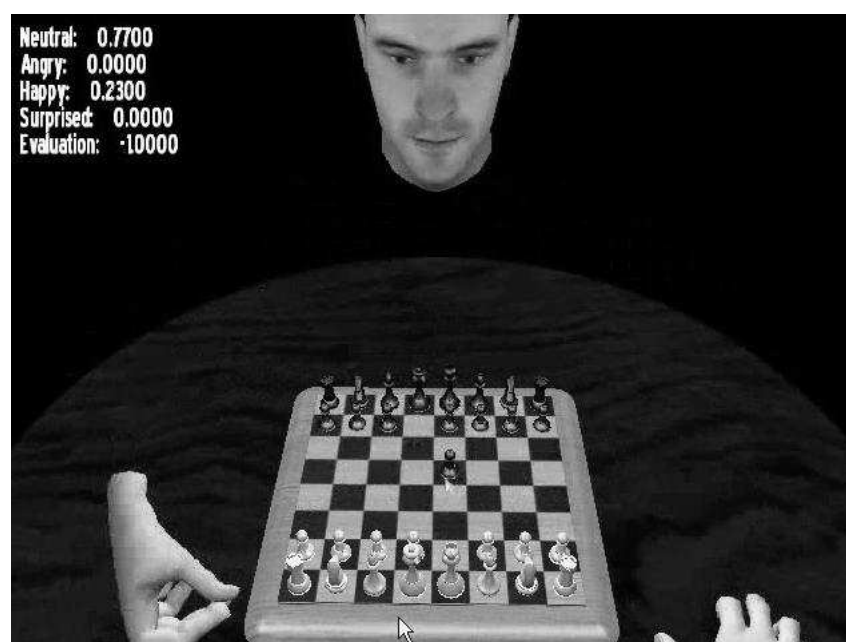


Figura 5.14: Capturando o peão - fase crescente

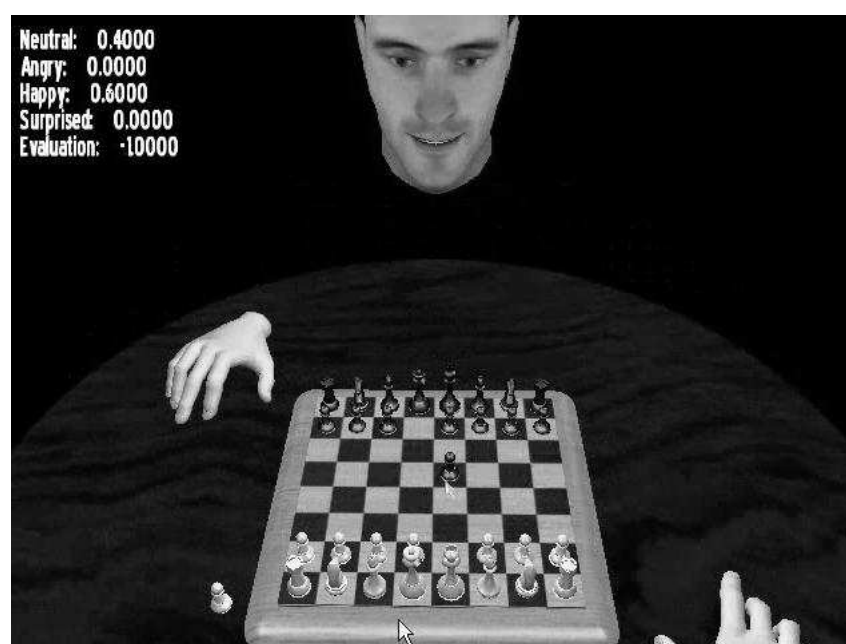


Figura 5.15: Capturando o peão - fase crescente

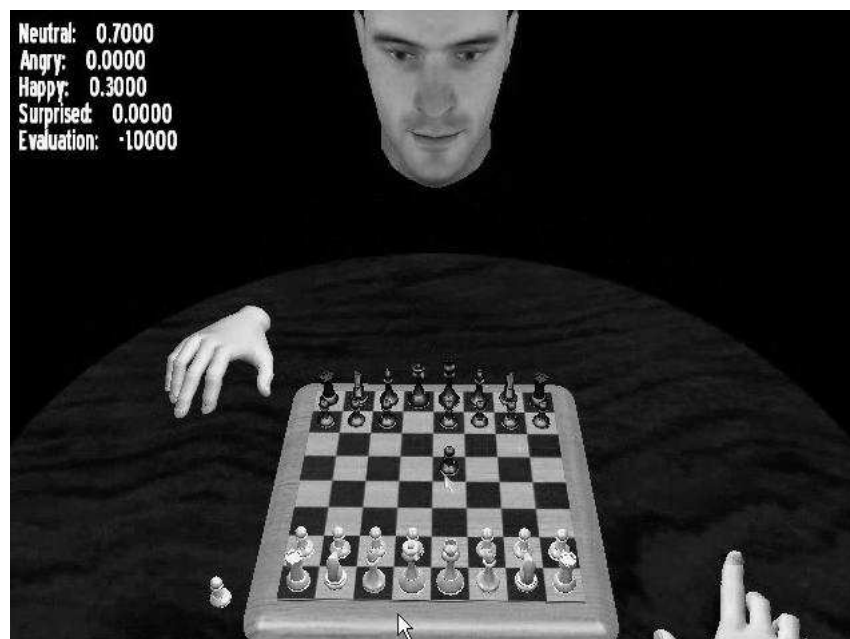


Figura 5.16: Capturando o peão - fase decrescente

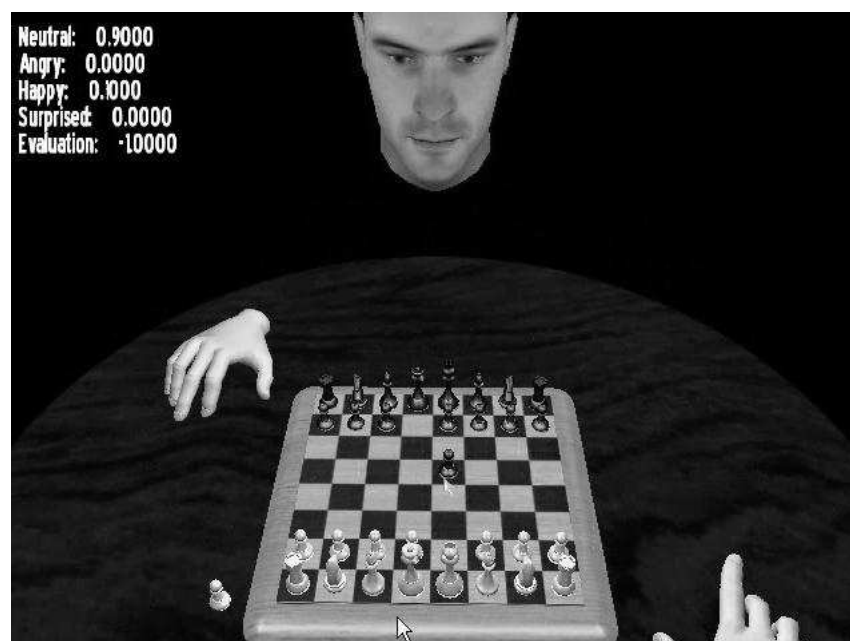


Figura 5.17: Capturando o peão - fase decrescente

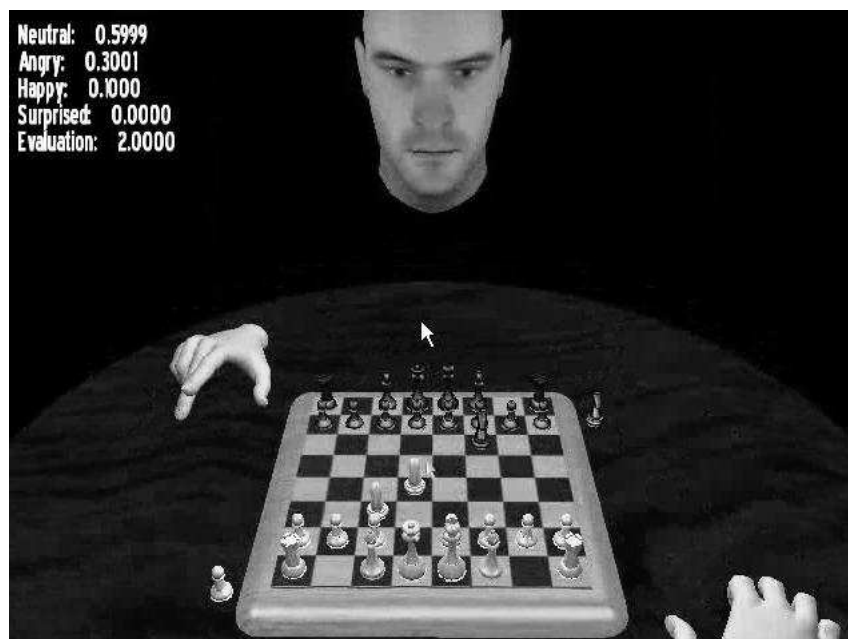


Figura 5.18: Personagem ocioso - situação inicial

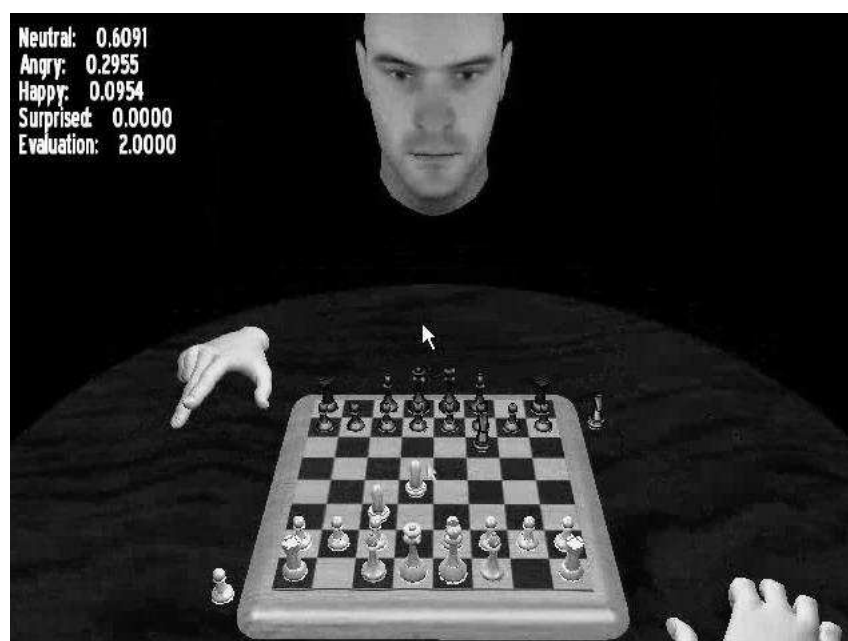


Figura 5.19: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito

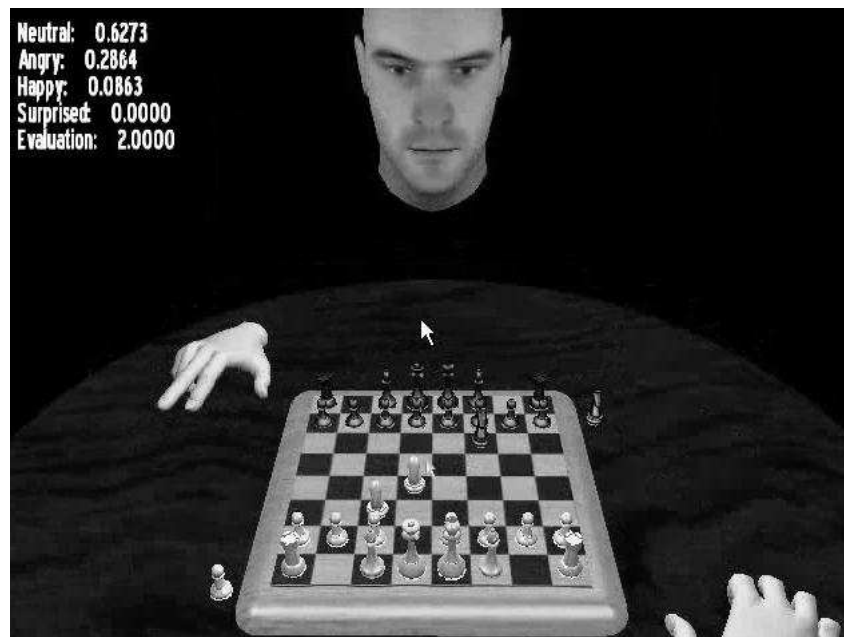


Figura 5.20: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito

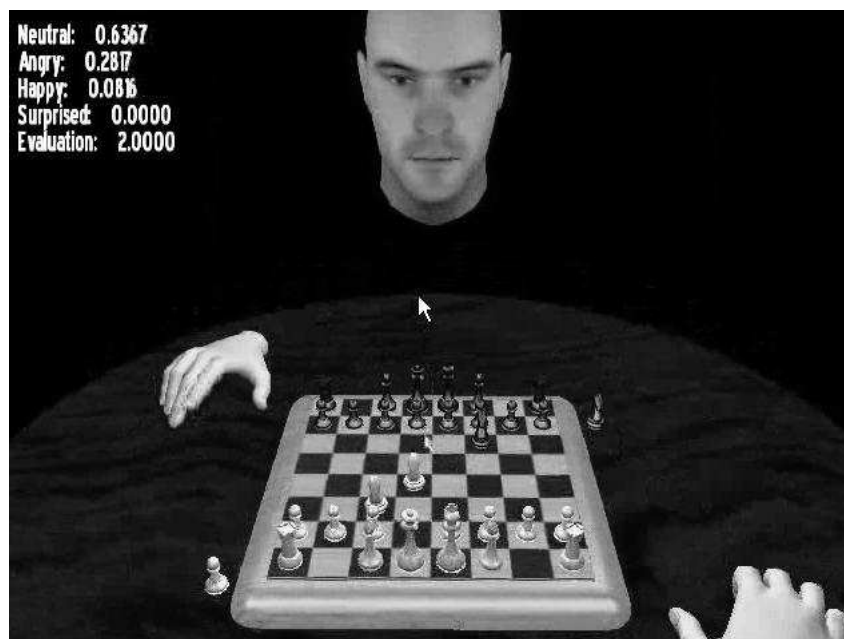


Figura 5.21: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito

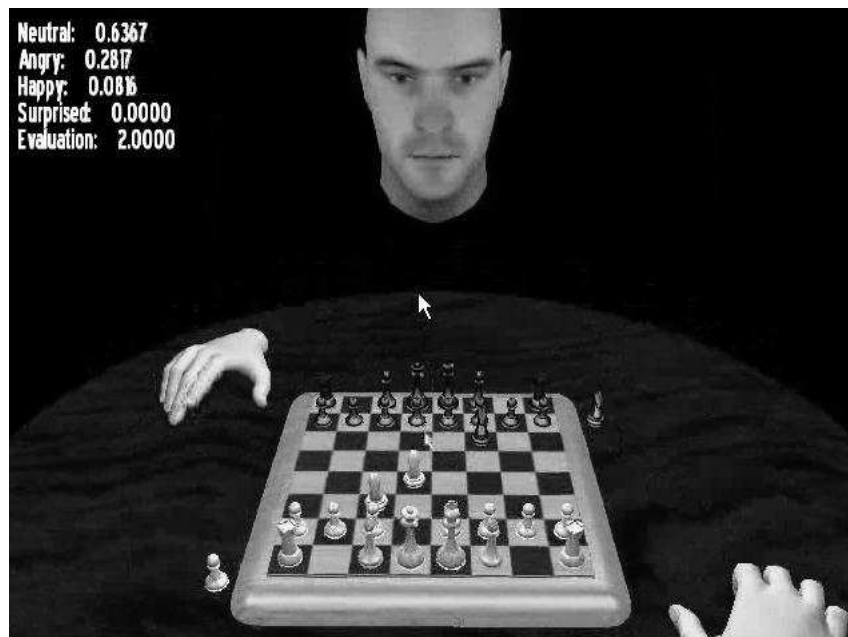


Figura 5.22: Personagem ocioso - decaimento dos estados de espírito

5.3 Análise

Para o caso de teste da mescla de estados, o que pode-se observar sobre seus resultados é que mesmo em situações em que se tem uma mescla de até três estados, o personagem mantém a predominância do estado que obteve mais contribuições dos eventos (jogadas). Esta predominância só será alterada se ao decorrer dos eventos este estado predominante deixa de receber contribuições de graus de pertinência. Tal tipo de predominância de um estado específico torna mais fácil a compreender a relação da expressão facial do personagem com os eventos do jogo. É claro que em situações que os eventos favorecem igualmente a muitos estados, o personagem terá mais de um estado predominante e haverá uma competição entre pelos seus graus de pertinência. Esta competição pode fazer com que o personagem apresente muitos estados participantes e cada um deles com grau de pertinência baixo gerando um tipo de expressão facial mais difícil de ser compreendida. No entanto, como o número de estados é reduzido, este tipo de situação é mais difícil de ocorrer.

O segundo caso de teste trata de aspectos relacionados ao relacionamento entre as camadas de emoção e estado de espírito. Neste caso de teste, primeiramente demonstrou-se o efeito cumulativo que as emoções causaram nos estados de espírito. Como pode-se observar, sucessivos eventos dispararam emoções, que ao término de sua execução, contribuíram para que um estado de espírito específico fosse incrementado e os demais decrementados. Este tipo de efeito causado pelas emoções estão de acordo com estudos de modelos da literatura (modelo PE e PME). Ainda de acordo com os estudos destes modelos, tem-se o segundo exemplo deste caso de teste. Neste, é mostrada a influência que um estado de espírito pode causar a uma emoção específica. No caso do segundo exemplo, o que pode-se notar é que além do valor da peça, que contribui para o ponto máximo da expressão facial, tem-se o grau de pertinência do estado de espírito que contribui, também, para que a emoção atinja um ponto máximo. Assim, como pode ser visto no segundo exemplo, quanto mais agradável a situação de jogo para o personagem, maior é o ponto limite de sua expressão facial para uma emoção do estado *Feliz*.

No terceiro caso de teste, foi mostrado com mais detalhes o sentido bidirecional da função de transferência (fases crescente e decrescente) e a transferência gradativa dos graus de pertinência entre estados. Note que, sem a utilização desta função, a FuSM realizaria uma única transferência a cada evento associado para a sua transição. Isto não seria adequado às expressões faciais do personagem, que acabaria por apresentar mudanças bruscas entre as suas expressões faciais. Fazendo uma analogia à técnica da função de transferência de pacotes, que foi proposta neste trabalho, teríamos o seguinte: a cada evento uma transição seria acionada e esta iria transferir apenas um pacote p com grau de pertinência igual a k . Este valor, corresponderia a quantidade total de pacotes p que seriam transferidos pela função de transferência proposta neste trabalho. Além da transferência de um único pacote, sem o emprego da função de transferência, não seria possível (com a operação de transição tradicional da FuSM) realizar a transferência de graus de pertinência no sentido bidirecional. Isto, porque a operação de transição tradicional foi projetada apenas para transferir um certo valor de um estado de origem a um estado de destino. Como pode ser observado, o emprego da função de transferência especializa a FuSM

para que se adeque ao modelo de emoções e gere expressões faciais mais adequadas em comparação à modelagem FuSM tradicional.

No último caso de teste, foi mostrado o comportamento do personagem quando este não sofria alterações quanto aos eventos externos do jogo. O emprego de uma função de decaimento linear aos graus de pertinência dos estados participantes (com exceção do estado *Concentrado*) fez com que o estado *Concentrado* recebesse gradativamente contribuições dos outros estados participantes (com grau de pertinência diferente de zero) sem que o modelo voltasse repentinamente a configuração inicial do personagem (estado *Concentrado*). Note que demorar a voltar para a configuração de estados inicial é bom, pois em situações entre eventos do jogo, em que o personagem está ocioso, o modelo ainda se mantém coerente mesmo com os estados descontados nos seus graus de pertinência. No caso em que fosse utilizado um decaimento dado por uma função não-linear (ex. $1/x^2$) os estados retornariam a configuração inicial muito rapidamente e as expressões poderiam não fazer mais sentido para aquele jogo.

6 CONCLUSÕES

“No final, tudo é humor.”

Charles Chaplin

Este trabalho tratou, sob uma ótica nebulosa, o problema da representação e simulação em tempo real de um modelo de emoções para um personagem de um jogo eletrônico de xadrez. Foi estudado o estado da arte de modelos de emoções, no capítulo 3, dando foco aos modelos PE e PME. Além disto, foi realizado um estudo do estado da arte de FuSMs, no capítulo 2, suas teorias e aplicações em jogos eletrônicos. Com base nestes estudos, foram elaboradas uma FuSM e um modelo de emoções (modelo ME) adequado a representação nebulosa. Tratando-se da FuSM, este trabalho explorou as suas principais características como mescla de estados, suavidade das transições e, além disso, foi proposta uma técnica de transferência de graus de pertinência entre estados da FuSM de forma a simular emoções e estados de espírito. Com relação ao modelo ME, a sua elaboração teve intuito de se adequar a FuSM proposta para que, em conjunto, bons resultados pudessem ser obtidos. Como foi demonstrado, no capítulo 5, resultados dos experimentos foram coerentes com as ações do personagem do jogo e as suas expressões faciais. Além das expressões faciais, as emoções e estados de espírito comportaram-se de acordo com o modelo ME proposto neste trabalho, que foi baseado em estudos de modelos de emoções (modelo PME e PE) da literatura acadêmica.

6.1 Contribuições

“O tempo é o melhor autor. Sempre encontra um final perfeito.”

Charles Chaplin

Primeiramente deve-se ressaltar que parte deste trabalho serviu como conteúdo para elaboração um artigo relacionado à função de transferência proposta neste trabalho. O artigo produzido foi aceito no congresso WCCI-2008 (IEEE World Congress on Computational Intelligence) na Conferência FUZZ-IEEE-2008 (IEEE International Conference on Fuzzy Systems).

Ainda se tratando da função de transferência, esta apresentou duas características particulares de funcionamento para o modelo de emoções: a primeira diz respeito à transferência dos graus de pertinência entre estados da FuSM. Esta transferência foi suavizada pela função, acarretando em uma melhora na mudança entre as emoções e expressões faciais para o personagem do jogo. A segunda característica trata do efeito cumulativo que as emoções proporcionam aos estados de espírito. A função de transferência foi capaz de simular adequadamente o efeito cumulativo e produziu resultados no personagem que foram coerentes com o jogo.

É importante destacar também o emprego da FuSM a um modelo de emoções. O emprego desta FuSM proporcionou uma riqueza de expressão ao modelo de emoções, que seria inviável se feito a partir de uma FsM tradicional. Tal poder de expressão foi caracterizado pela mescla de estados (emoções e estados de Espírito).

Outra contribuição que deve ser mencionada, foi a da criação de uma biblioteca (FuSMLib) de FuSM. Esta biblioteca pode facilitar futuros desenvolvedores de jogos que necessitem de funcionalidades de máquinas de estados nebulosa ou FsM tradicionais.

Por fim, cabe ressaltar a questão da aplicação do modelo proposto a um jogo

eletrônico de xadrez. A criação de um personagem com comportamento emocional que interage (em tempo real) de acordo com lances de uma partida do jogo de xadrez, também deve ser considerado como mais uma contribuição deste trabalho.

6.2 Trabalhos Futuros

“Na vida, ao contrário do xadrez, o jogo continua depois do xeque-mate.”

Isaac Asimov

No que se refere a representação FuSM para o modelo de emoções, há a possibilidade de extensão desta para modelos com uma camada adicional. De acordo com o capítulo 4, foi apresentado um modelo de emoções denominado modelo ME. Embora a camada de personalidade não tenha sido utilizada neste trabalho, nada impede que isto seja feito. No entanto, a utilização desta camada em conjunto com o modelo ME só seria viável se atuassem separadamente. Para contornar este problema, o emprego de uma estrutura auxiliar para representar a camada de Personalidade seria o mais adequado. Desta forma, a representação FuSM de um modelo PME seria possível e daria margem para demais trabalhos.

Em relação a questão do número de estados da FuSM, a utilização excessiva destes em uma mesma FuSM, ocasionaria o decaimento do poder de expressão desta (capítulo 2). Além disso, o número de transições cresceria expressivamente, acarretando em uma provável queda de processamento. Porém, não pode ser descartada a possibilidade do uso de FuSMs em conjunto para representar estes estados. Como sugestões, podem ser adotadas estratégias como FuSMs hierárquicas ou simplesmente FuSMs disjuntas. É importante frisar que, cuidados de implementação devem ser tomados com as escolhas das emoções para cada FuSM. Emoções que apresentem uma boa interação devem ser tratadas por uma mesma FuSM.

Em se tratando da função de transferência proposta neste trabalho, alguns

aperfeiçoamentos poderiam ser feitos. Um deles seria especializar o comportamento de algumas transições da FuSM. Por exemplo, no caso de transições que vão para o estado de felicidade o tempo de duração poderia ser mais duradouro em comparação às transições que chegam ao estado de surpresa. Com este tipo de especialização, as emoções e expressões faciais do personagem do jogo tornariam-se mais fiéis à realidade.

Por fim, deve-se destacar também a questão da aplicação do modelo proposto à área de jogos eletrônicos. Aplicações deste modelo podem ser utilizadas em outros jogos eletrônicos além do jogo de xadrez. Como por exemplo, no jogo “the sims”, no qual o comportamento dos personagens do jogo é de fundamental importância. Adicionalmente, aplicações fora do domínio de jogos eletrônicos poderiam se beneficiar deste tipo de modelo. Um bom exemplo é o das aplicações que utilizam “Chatterbots” (robôs de conversação) para interagir com o ser humano. Expressões faciais e um modelo de emoções adequado é de grande valia para essas aplicações.

6.3 Resultados dos Experimentos

Para os três primeiros casos de teste do capítulo 5, pôde-se notar que o funcionamento mostrou-se adequado à aplicação. As transições entre estados comportaram-se de forma gradativa, o efeito cumulativo causado pelas emoções e as influências dos estados de espírito apresentaram-se coerentes com os eventos do jogo. Além disso, a mescla de estados demonstrou-se satisfatória. Para o quarto caso de teste, a utilização de um decaimento dos estados de espírito linear mostrou-se satisfatório.

Como pode ser observado, os resultados relativos ao poder de expressão da FuSM são promissores. Porém, deve-se ter cautela na escolha do número total dos estados, de forma que não haja inexpressividade do modelo. No entanto, tal cautela, não necessariamente pode ser considerada como empecilho grave à utilização do modelo proposto. Como visto no capítulo 2, existem diversas propostas para resolução do problema da inexpressividade dos estados no modelo FuSM.

6.4 Dificuldades Encontradas

A pesquisa na área inteligência de artificial e computacional aplicada a jogos eletrônicos vem crescendo nos últimos anos. No entanto, ainda há muita dificuldade em relação à pesquisa de artigos relacionados a tal área. Apesar da ampla utilização de técnicas computacionais em jogos eletrônicos comerciais, muitas das inovações não são publicadas devido ao protecionismo que as empresas fazem de seus produtos (jogos) por causa da concorrência de mercado.

Diversos trabalhos acadêmicos sobre modelos de comportamento e emoções para personagens de jogos eletrônicos foram encontrados. No entanto, não se pode dizer o mesmo de artigos sobre FuSM e suas aplicações, o que dificultou bastante o início da pesquisa.

Superada a etapa de pesquisa, entrou-se na fase de implementação, que impôs grande dificuldade. Esta fase requereu o estudo e a integração de diversas ferramentas (softwares). Dentre as ferramentas, podem-se citar: OGRE, OGREChess, C++, Visual Studio C++ e outras. Cabe ressaltar que, a carência de uma biblioteca que implementasse as funcionalidades de FuSMs, acarretou no desenvolvimento de uma nova biblioteca (FuSMLib). Informações mais detalhadas a respeito dessas ferramentas computacionais podem ser encontradas no apêndice A.

Por último, elaborar casos de testes e métricas de avaliação adequadas não pode ser considerado tarefa trivial. Isto porque muitas das métricas de avaliação para jogos eletrônicos tendem à subjetividade e, às vezes, carecem de precisão em suas medidas. A medida “Replay Value”, por exemplo, que foi uma possível candidata à análise dos resultados, propõe uma medição do grau de “satisfação” que um determinado jogo proporciona. Este grau de satisfação, pode ser medido a partir do número de vezes em que o usuário voltou a utilizar o jogo eletrônico. Conclusões a partir desta medida para o modelo proposto poderiam ser precipitadas, pois dependem de aspectos regionais e culturais. Além disso, o grau de satisfação não seria suficiente para medições do funcionamento adequado da FuSM. De forma a contor-

nar este problema, casos de teste particulares foram elaborados e uma medida de avaliação particular para o comportamento da FuSM foi aplicada.

6.5 Considerações Finais

É importante finalizar esta dissertação com sentimento de plena satisfação e saber que mais um trabalho poderá contribuir para o conhecimento acadêmico, que é um dos grandes responsáveis pela disseminação do saber e evolução da sociedade. Pode-se dizer, também, o quão gratificante foi o ato de produzir um trabalho acadêmico que conseguiu levar à prática os conceitos teóricos propostos. Saber que objetivos foram alcançados e trabalhos futuros podem ser explorados, acarretando na elaboração e desenvolvimento de novas técnicas, finaliza esta dissertação com a satisfação do dever cumprido.

BIBLIOGRAFIA

A., C. **Being There**: putting brain, body, and world together again. [S.l.]: MIT Press, 1998.

A COMPUTATIONAL MODEL OF EMOTIONAL CONDITIONING IN THE BRAIN, 1997. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1997.

A. ORTONY, G. C. e. A. C. **Cognitive structure of emotions**. 1998.

AGUIAR GRIECO, B. P. de. **AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MIDDLEWARE FOR DIGITAL GAMES**. 2006. Projeto de Diplomação — Instituto de Matemática - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BARSALOU, L. W. Language comprehension: archival memory or preparation for situated action. **Discourse Process**, [S.l.], v.28, p.61–80, 1999.

BROWN, A. L. The advancement of learning. **Educational Res.**, [S.l.], v.23, n.8, p.4–12, 1994.

BRUER, A. T. e. L. W. J. t. **Schools for Rhought**: a science of learning in the classroom. 1993.

CARMACK J., R. J. **DOOM**. 1993.

CARMACK J., R. J. **QUAKE**. 1996.

COGNITION; VANDERBILT, T. G. A. **Situated Learning**: legitimate peripheral participation. 1991.

COGNITION; VANDERBILT, T. G. A. **The Jasper Project**: lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development. 1997.

CRUZ A. J. O. DEMASI P., L. J. C. M. **Jogos Educativos Inteligentes**: ferramentas de suporte. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação, 2003.

DEMASI, P. **Estratégias Adaptativas e Evolutivas em Tempo Real para Jogos Eletrônicos**. 2003. Projeto de Diplomação — Instituto de Matemática - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DODIG-CRANKOVIC, G. Scientific Methods in Computer Science. In: CONFERENCE FOR THE PROMOTION OF RESEARCH IN IT AT NEW UNIVERSITIES AND AT UNIVERSITY COLLEGES IN SWEDEN, 2002, Skovde. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2002.

DRISCOLL, S. **OgreChess**. Disponível em: <<http://www.steviedisco.co.uk/>>. Acesso em Jul 20, 2007, internet.

DYBSAND, E. **A Generic Fuzzy State Machine in C++**. [S.l.]: Charles River Media, 2001.

EGGES A., K. S. e. M.-T. N. **Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems**. [S.l.]: Springer Berlin / Heidelberg, 2003.

EKMAN, P. **Emotion in the Human Face**. 1982. v.2.

GEE, J. P. What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy. **ACM Computers in Entertainment**, [S.l.], v.1, n.1, Oct 2003.

GIRAUD-CARRIER, C.; MARTINEZ, T. An Incremental Learning Model for Commonsense Reasoning. In: SEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ISAI'94), 1994. **Proceedings...** ITESM, 1994. p.134-141.

GROUP, N. L. **A pedagogy of multiliteracies**: designing social futures. 1996. 60-92p. v.66.

J. GRATCH J. RICKEL, E. A. Creating interactive virtual humans: some assembly required. **IEEE Intelligent Systems** **17**, [S.l.], v.4, p.54–63, Jul 2002.

JOHNSON, D.; WILES, J. Computer Games With Intelligence. In: PROCEEDINGS OF THE 2001 IEEE INTERNATIONAL FUZZY SYSTEMS CONFERENCE, 2001, Melbourne, Australia. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2001.

JONATHAN BAXTER, A. T. e. L. W. KnightCap: a chess program that learns by combining td(lambda) with game-tree search. **MACHINE LEARNING Proceedings of the Fifteenth International Conference (ICML '98)**, ISBN **1-55860-556-8**, ISSN **1049-1910**, [S.l.], p.28–36, Jul 1998.

LAVE, J. Teaching, as learning, in practice. **Mind, Culture, and Activity**, [S.l.], v.3, p.149–164, 1996.

MAGNENAT-THALMANN, S. K. N. A Multilayer Personality Model. In: SYMP. ON SMART GRAPHICS, 2002, New York, USA. **Proceedings...** ACM, 2002.

MCCUSKEY, M. **Fuzzy logic for video games**. [S.l.]: Charles River Media, 2000.

O. P. JOHN, R. R. M. e. An introduction to the five-factor model and its applications. **Journal of Personality**, [S.l.], v.60, p.175–215, 1992.

O'BRIEN, L. Fuzzy logic in games. **Game Developer Magazine**, [S.l.], p.53, May 1996.

P. EKMAN, W. V. F. Pictures of facial affects. **Consulting psychologist**, [S.l.], 1976.

P. EKMAN, W. V. F. **Facial Action Coding System**. [S.l.]: Consulting Psychologist Press, 1978.

P. KLEINGINNA, A. K. A categorized list of emotion definitions with suggestions for a consensual definition. **Motivation and Emotion**, [S.l.], v.5, p.345–379, 1981.

REYNERI, L. M. An Introduction to Fuzzy State Automata. In: INTERNATIONAL WORK-CONFERENCE ON ARTIFICIAL AND NATURAL NEURAL NETWORKS, 1997, Ilhas Canárias. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997. p.273–283.

S. MARSELLA, J. G. e. Lessons from emotion psychology for the design of life-like characters. **Applied Artificial Intelligence (special issue on Educational Agents - Beyond Virtual Tutors)**, [S.l.], v.19, n.3, p.215–233, 2005.

SCHWAB, B. **AI Game Engine Programming**. [S.l.]: Charles River Media, 2004.

SINBAD, S. **Object-Oriented Graphics Rendering Engine**. <http://www.ogre3d.org>.

STUDIOS, E. **Age of Mythology**. 2002. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/brasil/games/agemythology/home.aspx>>. Acesso em Jul 11, 2007.

VELÁSQUEZ, J. D. Modelling emotions and other motivations in synthetic agents. **American Association for Artificial Intelligence**, [S.l.], p.10–15, 1997.

VIRTUAL HUMANS PERSONIFIED, 2002. **Anais...** ACM Press, 2002. p.356–357.

WOODCOCK, S. **Games Making Interesting use of Artificial Intelligence Techniques**. May., 1999. Disponível em: <<http://www.gameai.com/games.html>>. Acesso em Jul 15, 2007.

WRIGHT, W. **The Sims**. Feb., 2000. Disponível em: <<http://thesims.ea.com/>>. Acesso em Jul 20, 2007.

APÊNDICE A EXPERIMENTOS

A.1 Ambiente Computacional

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Inteligência Computacional (Labic-NCE) com auxílio de dois computadores PC. Para o elaboração, construção do modelo 3d, expressões faciais do personagem do jogo de xadrez foi utilizado um PC Athlon XP 2700+ 2166MHz com 512MB de memória RAM, 40GB de HD e placa de vídeo SIS 315 de 32MB. Já para simulação e testes computacionais foi utilizado um PC Athlon XP 2700+ 2166MHz com 512MB de memória RAM, 40GB de HD com placa de vídeo NVIDIA RIVA TNT2.

A.2 Programas Utilizados

A.2.1 O Motor de Renderização Gráfica Orientado a Objetos - OGRE

OGRE(Object-Oriented Graphics Rendering Engine)(SINBAD, 2001) é um motor dedicado a renderização de gráficos 3D criado por Steve Sinbad. OGRE foi desenvolvida em linguagem C++ com enfoque no conceito de Orientação a Objetos. Algumas de suas principais características devem ser mencionadas: multiplataforma,

arquitetura de plugins, ferramentas de exportação, design orientado a objeto, orientado a cenas, possui linguagem de script, vasta documentação, extensa comunidade de usuários, fóruns e outras. Em se tratando da distribuição e gratuidade do software OGRE, este é livre e está sob licença LGPL (Licença Branda Pública Geral).

A.2.2 OGREChess

OgreChess(DRISCOLL, 2005) é um jogo eletrônico de xadrez desenvolvido em OGRE. Este jogo é de autoria de Stevie Driscoll e apresenta licença livre. Steve Driscoll foi o responsável pelo desenvolvimento da parte interativa e gráfica do jogo. Além disso, reaproveitou um motor de jogo desenvolvido por . Suas principais características são: três níveis de dificuldade, visual amigável e boa interatividade.

A.2.3 A Biblioteca FuSMLib

Para que fosse possível o cômputo de valores a partir da FuSM proposta neste trabalho, foi necessário utilizar uma biblioteca computacional que contivesse as funcionalidades de uma FuSM. Assim, pesquisas no domínio Fuzzy/FuSM foram realizadas com intuito de encontrar algo que suprisse tais funcionalidades. Infelizmente, resultados desta pesquisa não foram animadores ou ao menos satisfatórios, o que levou o processo de pesquisa a um processo de elaboração e construção. Este novo processo gerou uma nova biblioteca denominada FuSMLib, que foi desenvolvida a partir da linguagem C++. Como a biblioteca foi criada não apenas para o uso deste trabalho e sim num âmbito mais geral, foi determinado que esta fosse de fácil manuseio e ao mesmo tempo funcional para os programadores de jogos. Assim, deve-se mencionar algumas características desta biblioteca que merecem destaque: múltiplas FuSMs, facilidade e versatilidade de configuração e log de erros. A primeira característica da FuSMLib faz com que esta possa ser aplicada em projetos grandes de jogos, tal que facilite a utilização e controle de diversas FuSMs em um mesmo módulo. Já a segunda característica é responsável pelo fornecimento de uma

fácil configuração, que pode ser feita de forma estática ou dinâmica. A forma estática nada mais é do que uma configuração anterior a execução das FuSMs, que pode ser feita com o auxílio de alguns arquivos de configuração. Já a dinâmica, a configuração pode ser feita ao longo da execução das FuSMs através de métodos de entrada de cada FuSM. No que diz respeito ao tratamento de erros da biblioteca, cada FuSM escreve os erros em um arquivo de log de forma a facilitar o usuário na investigação de um possível erro.