

Rafael Oliveira Lopes

***Um Simulador de Emoções Utilizando Lógica
Nebulosa***

Rio de Janeiro, Brasil

16 de Maio de 2011

Rafael Oliveira Lopes

***Um Simulador de Emoções Utilizando Lógica
Nebulosa***

Monografia apresentada para obtenção do Grau
de Bacharel em Ciência da Computação pela
Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador:

Adriano Joaquim de Oliveira Cruz

CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Rio de Janeiro, Brasil

16 de Maio de 2011

Um Simulador de Emoções Utilizando Lógica Nebulosa

Rafael Oliveira Lopes

Projeto Final de Curso submetido ao Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Autor do Trabalho:

Rafael Oliveira Lopes

Aprovado por:

Prof. PhD. Adriano Joaquim de Oliveira Cruz
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Orientador

Prof. Docteur Josefino Cabral Melo Lima
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. D. Sc. João Carlos Pereira da Silva
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo

Um Simulador de Emoções Utilizando Lógica Nebulosa

Rafael Oliveira Lopes

Durante anos acreditava-se que emoções atrapalhavam o processo de tomada de decisões, e um modelo computacional inteligente deveria abolir o conceito de emoção. Para conseguir tomar decisões corretas, apesar de simular o comportamento humano, a supressão das emoções era um conceito importante. Esta crença foi refutada, e atualmente sabe-se que um ser humano necessita das emoções para tomar decisões.

Desta forma, um sistema que se proponha a simular o raciocínio humano necessita possuir uma componente relacionada a emoções, para gerar uma simulação mais correta. Uma área que pode ser largamente favorecida com desenvolvimento de modelos de emoções é a de jogos eletrônicos, tanto que jogos utilizando modelos de emoção para personagens não controlados pelo usuário já estão a venda.

Este trabalho tomou como princípio um modelo de emoções chamado FLAME, simplificando-o para aplicá-lo ao contexto de jogos eletrônicos. Neste sistema, um personagem não controlado por jogador, ao entrar em um cenário é afetado pelas características do cenário, que determinam seu estado emocional. A memória então se encarrega de alterar este estado emocional, de acordo com eventos que ocorreram no passado. A partir das emoções, determina-se qual será o comportamento que o personagem tomará no cenário.

Testes foram feitos para avaliar e discutir seu funcionamento, assim como a aplicação prática de um modelo de emoções para a indústria de jogos eletrônicos.

Abstract

An emotions simulator using fuzzy logic

Rafael Oliveira Lopes

For years, the common belief was that emotions disturb the decision-making process, and an intelligent computational model should abolish the concept of emotions. To be able to take correct decisions, although simulating human behavior, the suppression of emotions was an important concept. This belief was refuted, and nowadays it's well-known people need emotions to take their decisions.

Thus, a system that intends to simulate human reasoning needs to have a component related to emotions, to generate a more accurate simulation. Electronic games industry recently realized the importance of this concept, and now we can see some games using emotions to simulate attitude for the non-playing characters controlled by artificial intelligence.

This work used as a background a previous model of emotions called FLAME, simplifying it to adjust to the context of electronic games. In this system, when a non-playing character enters in a scenario, it encounters the scenario features, and these features set the emotional states of the character. Then, memory changes the emotional states, based in past events that happened to it. From the final emotional states, the model will determine what's the character's behavior in that scenario.

Tests were made to evaluate and discuss the model of emotions' operation, as well as the practical application of a model of emotions for the electronic games industry.

Dedicatória

Dedico este trabalho a meus avós, por sempre terem me apoiado irrestritamente, e tampado os buracos que eu insistia em cavar durante a minha vida.

Agradecimentos

Acredito que todas as pessoas que conviveram comigo nos últimos anos me foram importantes para este trabalho, seja dando sugestões para o mesmo, ou até mesmo me retirando do trabalho para arejar a cabeça e relaxar, quando eu não conseguia mais progredir. Mesmo sabendo que cometerei o grande erro de esquecer pessoas, tentarei citar ao menos algumas.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família. Meus pais Luiz e Luiza, que sempre me apoiaram, e questionavam o andamento do projeto final. Minha irmã por fazer sua tarefa de irmã: perturbar o irmão. Além disso, por ser bióloga, me emprestou livros que ajudaram a pensar no assunto. Ainda dentro da família, gostaria de agradecer aos meus padrinhos, Luiz Carlos e Rita, além de meu afilhado Ricardo.

Para construir este trabalho, algumas pessoas tiveram participação destacada, dando sugestões e críticas. Gostaria de mencionar os membros do LabIC Yanko Oliveira e Bruno Bottino, além do amigo Renato “Lond” Cerqueira, por sempre criticarem e darem sugestões para o trabalho. Gostaria também de agradecer a Davi Silva, por me ajudar a tirar muitas dúvidas, e a Fernanda Wanderley por praticamente salvar minha vida me ajudando a resolver problemas com imagens no LaTeX.

Gostaria de agradecer aos meus amigos da turma pelo companheirismo nestes quase cinco anos em que batalhamos juntos atrás de um diploma: Bruno Buss, Francisco Vianna, Felipe Martinez, Thiago Elias Gomes, Diogo Borges, Erich Souza, Jonas Arêas, Marcelo Jochem.

Agradeço também a Vitor de Mario, Taciana e Bruno Bottino por, na reta final, ajudar na revisão deste trabalho.

Para terminar, gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Adriano, pelas críticas, sugestões e bates-papos que tivemos durante os anos de Iniciação Científica e este projeto final.

Lista de Figuras

- 2.1 Uma variável nebulosa, com cinco conjuntos nebulosos. p. 14
- 2.2 Etapa de *matching*, através da técnica de *clipping*. Note que os pontos cujo grau de pertinência era superior a 0,5, passaram a ter grau de pertinência igual a 0,5. p. 16
- 2.3 Um exemplo gráfico do funcionamento da agregação de duas regras nebulosas, através do operador de máximo. p. 17
- 2.4 Exemplos de desnebulização utilizando Centro de Área, Bissetor, e Valores da Máximo. Notem que o Centro de Área e o Bissetor apontam para o mesmo ponto, apesar de não ser sempre este o caso. p. 19
- 2.5 Localização do Tálamo, Sistema Límbico e Neurocórtex no cérebro humano. p. 21
- 2.6 Tabela com as emoções representadas pelo modelo OCC. p. 22
- 3.1 Esquema de funcionamento do modelo proposto para o trabalho. p. 27
- 3.2 Variáveis de entrada e saída do sistema nebuloso do Determinador de Emoções. p. 32
- 3.3 Tabelas representando as regras nebulosas e suas implicações para as duas variáveis de saída do sistema nebuloso do Determinador de Emoções. p. 34
- 3.4 Variáveis de entrada e saída do sistema nebuloso do Determinador de Comportamento. p. 36
- 3.5 Tabela representando as regras nebulosas e suas implicações para a variável de saída do sistema nebuloso do Determinador de Comportamento. p. 37
- 3.6 Interface Gráfica desenvolvida em .NET para o modelo. p. 38
- 3.7 Cenários de fundo disponíveis para execução, de acordo com as características do ambiente dadas como entrada. p. 39
- 3.8 Sistema em execução através da interface gráfica. p. 39
- 3.9 Funcionamento da comunicação entre os processos. p. 40

Sumário

1	Introdução	p. 10
1.1	Motivação e objetivos deste trabalho	p. 10
1.2	Estrutura da monografia	p. 12
2	Fundamentação Teórica	p. 13
2.1	Lógica Nebulosa	p. 13
2.1.1	Variáveis	p. 13
2.1.2	Regras	p. 15
2.1.3	Sistemas Nebulosos	p. 16
2.2	Emoções	p. 18
2.2.1	Ponto de vista biológico	p. 19
2.2.2	Representação de emoções	p. 21
2.2.3	Modelos computacionais de representação de emoções	p. 23
2.2.4	Problemas no uso de emoções em sistemas inteligentes	p. 25
3	Desenvolvimento do projeto	p. 26
3.1	Modelo desenvolvido	p. 26
3.1.1	Avaliador de Cenário	p. 26
3.1.2	Determinador de Emoções	p. 27
3.1.3	Memória	p. 27
3.1.4	Determinador de comportamento	p. 28
3.1.5	Presença do Inimigo	p. 28

3.2	Implementação	p. 28
3.2.1	Biblioteca LibFuzzy	p. 29
3.2.2	Escolha das Emoções	p. 29
3.2.3	Funcionamento do modelo	p. 30
3.2.4	Desenvolvimento da Interface	p. 37
3.2.5	Comunicação entre processos	p. 40
3.3	Testes e Resultados	p. 41
4	Conclusões e trabalhos futuros	p. 42
4.1	Dificuldades apresentadas	p. 42
4.2	Conclusões sobre o modelo	p. 43
4.3	Trabalhos Futuros	p. 43
	Referências Bibliográficas	p. 44
	Anexo A – Questionário e resultados	p. 45

1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados a motivação do trabalho, seus objetivos, e a estrutura da monografia.

1.1 Motivação e objetivos deste trabalho

Desde seu nascimento até sua morte, o ser humano lida com emoções, que afetam suas ações e decisões. Suas percepções sobre o mundo, suas opiniões sobre diferentes tópicos, suas relações com outras pessoas e com outros seres vivos são influenciadas pelas emoções que a pessoa possui no momento.

Durante toda nossa vida, recebemos informações contraditórias sobre como lidar com emoções. Podemos ser instruídos a ser frios e racionais, fugindo ao máximo de deixar que as emoções influam em nossas decisões. Outras pessoas nos sugerem ignorar essa fuga e tomarmos uma decisão baseando-se também em emoções.

O fato é que o ser humano não consegue tomar uma decisão sem levar em conta o aspecto emocional[Miranda e Aldea 2005]. O cérebro, ao tomar a decisão, consulta também a área onde lidamos com emoções. Na seção 2.2, será apresentado com mais detalhes o funcionamento do cérebro com relação a emoções e como se chegou à conclusão de que um ser humano normal necessita de emoções para tomar decisões de forma racional.

Apesar de estudos mostrarem que as emoções são importantes na capacidade do ser humano em tomar decisões, as áreas de inteligência artificial e inteligência computacional apresentavam até recentemente poucos estudos sobre sistemas inteligentes com emoções. Martínez-Miranda e Aldea fazem um histórico sobre emoções na inteligência artificial, onde afirmam que tais estudos começaram a ser feitos com maior frequência a partir da segunda metade da década de 90 [Miranda e Aldea 2005].

Em inteligência computacional, é comum utilizar lógica nebulosa para implementar modelos que simulem emoções humanas. A lógica nebulosa, que será discutida em 2.1 é uma boa

opção para este tipo de simulação, pois lida com informações imprecisas. Em geral, informações que alteram as emoções sentidas pelo ser humano são imprecisas, de modo que é mais interessante utilizar lógica nebulosa que lógica booleana, que trata com informações precisas.

Por ser uma área ainda com estudos recentes e pelo fato de não termos um conhecimento total sobre o funcionamento do cérebro, estudos sobre modelos de emoções são uma área bastante promissora, principalmente se focarmos os modelos de emoções para situações específicas, ou determinadas áreas.

Uma área que pode ser largamente favorecida com o desenvolvimento de modelos de emoções é a de jogos eletrônicos. Demasi define um jogo eletrônico como uma atividade considerada divertida por quem a desempenha e que seja feita com o auxílio de um equipamento eletrônico [Demasi 2003]. Consideraremos como “adversário controlado pelo computador” um personagem não controlado pelo jogador e cujas ações são tomadas baseando-se em uma implementação de inteligência artificial ou computacional.

Apesar de alguns esforços em tentar simular emoções humanas em alguns jogos eletrônicos, a maior parte dos desenvolvedores de jogos eletrônicos não se preocupam com esse aspecto. Essa decisão gera algumas situações que um jogador pode analisar como irreais, e que tiram um pouco o realismo do jogo eletrônico.

Um exemplo que podemos dar é um jogo do estilo *FPS*. Um jogo *FPS*, do inglês *First Person Shooter*, é um jogo onde em geral nos imergimos em ambientes tridimensionais, e temos a visão em primeira pessoa do personagem que controlamos. Muitas vezes os jogos são de tiro, e os objetivos, em geral, abrangem matar os adversários controlados pelo computador. Esses jogos eletrônicos possuem cenários com iluminação variada, ambientes que podem ser assustadores para um jogador comum e emitem sons que têm objetivo imergir o jogador dentro da realidade de seu personagem. Esses fatores alteram a forma do jogador de controlar seu personagem. Mas o adversário controlado pelo computador não se altera com estes fatores.

Ao criar um modelo de emoções que altera as decisões do adversário controlado pelo computador conforme o ambiente em que ele se encontra, tornamos o jogo mais realista e portanto mais divertido ao jogador o ato de jogar o jogo eletrônico, mesmo que eventualmente seja mais difícil de vencer seu adversário com um modelo de emoções bem implementado.

Este trabalho tem como objetivo propor um modelo de emoções para jogos eletrônicos, implementá-lo, apresentar seus testes e discutir se o modelo proposto é válido ou não. Neste modelo, o adversário controlado pelo computador se encontra em um cenário do jogo eletrônico, de forma que este cenário determinará as emoções que o personagem sente.

1.2 Estrutura da monografia

Esta monografia se encontra dividida em quatro capítulos. No segundo apresentaremos os fundamentos básicos de lógica nebulosa, definindo o conceito de variáveis, regras e sistemas nebulosos. Após essa definição, apresentaremos os estudos teóricos sobre emoções, partindo desde o ponto de vista biológico até modelos de emoções que serviram de base para esta monografia.

No terceiro capítulo discutiremos sobre o modelo proposto e sua implementação. Para cada componente do modelo, analisaremos sua importância, funcionamento e apresentaremos a sua implementação. Ao final do capítulo apresentaremos os testes realizados e resultados.

No quarto capítulo apresentaremos as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do projeto e conclusões feitas sobre o mesmo. Também são abordadas sugestões de trabalhos futuros para serem desenvolvidos a partir deste trabalho.

2 *Fundamentação Teórica*

Neste capítulo faremos uma revisão sobre os conceitos de lógica nebulosa, além de apresentar um estudo teórico sobre emoções humanas, sua importância para a inteligência humana e modelos de emoções existentes.

2.1 **Lógica Nebulosa**

A lógica booleana é um modelo amplamente aceito em modelagem de sistemas inteligentes, apesar de lidar com informações de forma precisa. Uma variável assume apenas valores como verdadeiro ou falso a partir de alguma proposição. Informações imprecisas não podem ser representadas neste tipo de modelo.

A lógica nebulosa, ao contrário da lógica booleana, permite que uma proposição possa assumir graus de verdade. A partir de uma condição, uma variável pode ser parcialmente verdade. Esses graus de verdade permitem uma modelagem mais realista de situações do mundo real, de tal forma que sistemas nebulosos de tomada de decisão foram implementados para diversas aplicações, desde controle de temperatura até modelos mais complexos. Alguns exemplos de aplicações podem ser encontrados em [Yen e Langari 1999].

2.1.1 **Variáveis**

A lógica clássica é baseada na teoria dos conjuntos clássica, em que um elemento pertence ou não a um conjunto. Enquanto estamos lidando com informações precisas, não há muitos problemas com a lógica clássica. Mas no momento em que há imprecisão na informação, na definição de conjuntos, a lógica clássica começa a apresentar falhas.

Um exemplo que podemos determinar consiste na altura de uma pessoa. Considere que existem três conjuntos nebulosos, “Baixo”, “Médio” e “Alto”, e uma variável Altura, que para pertencer a “Baixo” necessita ter um valor inferior a 1,60, para pertencer a “Médio” precisa

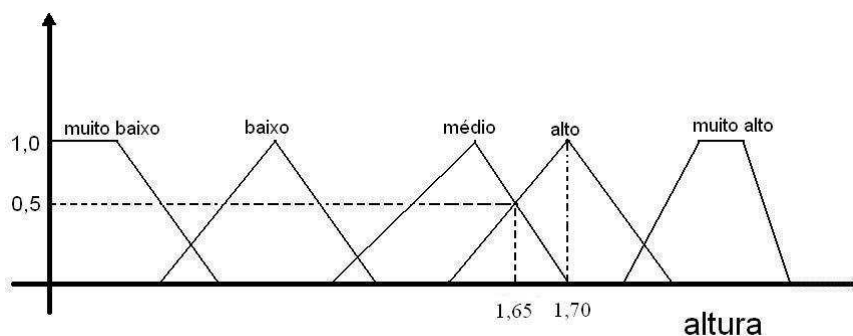


Figura 2.1: Uma variável nebulosa, com cinco conjuntos nebulosos.

estar entre os valores 1,60 e 1,80 e para pertencer a “Alto”, precisa ter um valor superior a 1,80. Caso o valor da variável Altura seja igual a 1,79, ela pertencerá a “Médio” e não pertencerá nem a “Baixo” ou “Alto”. Esse valor, mesmo estando bem próximo de “Alto”, tem o mesmo valor que se fosse 1,60, que estaria muito mais próximo de “Baixo”.

Em lógica nebulosa, um elemento pertence a um conjunto com um grau de pertinência no intervalo $[0,0, 1,0]$, onde os valores 0,0 e 1,0 correspondem, respectivamente a não pertencer e pertencer de um conjunto, na lógica clássica.

Com isso, podemos determinar de uma forma muito mais flexível dados imprecisos. Na figura 2.1, podemos verificar que quando a altura tem o valor de 1,70 metros, ela pertence ao conjunto “Alto” com grau de pertinência 1,0. Caso possua o valor de 1,65 metros, pertencerá ao conjunto nebuloso “Médio” com grau de pertinência 0,5 e pertencerá ao conjunto nebuloso “Alto” com grau de pertinência 0,5. Note que a soma dos valores de pertinência aos conjuntos não necessariamente precisa somar 1,0, apesar de ser uma prática comum em muitos sistemas existentes.

Com a lógica nebulosa, a teoria dos conjuntos precisou ser ampliada em alguns conceitos para que comportasse os novos conceitos de lógica nebulosa.

Um conjunto nebuloso passa então a ser um conjunto de pares do tipo $C = \{(x, \mu_C(x)) | x \in C\}$, onde os valores no par $(x, \mu_C(x))$ indicam o valor da variável e o grau de pertinência para este valor, respectivamente. Podemos também representar esses conjuntos como funções matemáticas. As mais utilizadas são os conjuntos trapezoidal e triangular, que possuem seu nome devido à sua forma geométrica. Uma variável nebulosa é uma variável, com um universo definido e subdivida em uma quantidade de conjuntos nebulosos. A figura 2.1 indica uma variável nebulosa seus conjuntos nebulosos, trapezoidais e triangulares.

Para a operação de união, foram criadas várias definições. Apesar disto, a mais utilizada,

e também utilizada neste trabalho, é do operador de máximo, definida por Zadeh[Zadeh 1965]. Na lógica tradicional, a operação de união consiste em indicar qualquer elemento que pertença a pelo menos um dos dois conjuntos. Já na lógica nebulosa a operação de união indica um valor intermediário que represente conjuntamente os valores de certeza para cada operando. Como definimos para a operação de união o operador de máximo, teremos como resultado da operação de união o grau máximo de pertinência da variável em ambos os conjuntos. Escrevendo de forma mais formal, para dois conjuntos A e B, temos $\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$, onde $C = A \cup B$.

Assim como a operação de união, várias definições foram criadas para definir a operação de interseção. Definiremos e utilizaremos neste trabalho a mais comum, que é a definição do operador de mínimo, definida por Zadeh[Zadeh 1965]. Na lógica tradicional, a operação de interseção consiste em indicar qualquer elemento que pertença aos dois conjuntos. Já na lógica nebulosa a operação de interseção indica um valor intermediário que represente conjuntamente os valores de certeza para cada operando. Se em um conjunto temos um valor de certeza 0,50 e em outro conjunto temos um valor de certeza 0,45, podemos dizer que nos dois conjuntos temos pelo menos um valor de certeza de 0,45, o valor mínimo entre os dois graus. Escrevendo mais formalmente, para dois conjuntos A e B, temos $\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$, onde $C = A \cap B$.

Mais formalmente, para que um operador seja considerado como válido para união ou interseção, deve obedecer a regras, definidas como t-norms (para interseção) e s-norms (para união). Ambas as regras podem ser lidas com detalhes no livro de Yen e Langari [Yen e Langari 1999].

Para a operação de negação em relação a um conjunto A, definimos o operador $\mu_C(x) = 1 - \mu_A(x)$. Podemos perceber que este operador engloba também a lógica tradicional, já que se tivermos um valor verdadeiro (com valor 1), sua negação será falso (com valor 0), e vice-versa.

2.1.2 Regras

Em lógica tradicional temos que uma regra consiste em várias operações lógicas sendo executadas e implicando em um valor lógico, que poderia ser verdadeiro ou falso. Em lógica nebulosa, as operações executadas são operações lógicas nebulosas, implicando em um valor nebuloso, cujo resultado está dentro do domínio $[0,0 ; 1,0]$.

Um exemplo que podemos dar é a regra “Se peso = Alto e altura = Baixa então situação = Perigo”. Em lógica tradicional, por exemplo, se dermos um valor para a variável peso que não pertença ao conjunto Alto, a força da afirmação “situação = Perigo” é igual a zero (falso), já que estamos lidando com uma interseção. Já em lógica nebulosa, se o valor que demos para

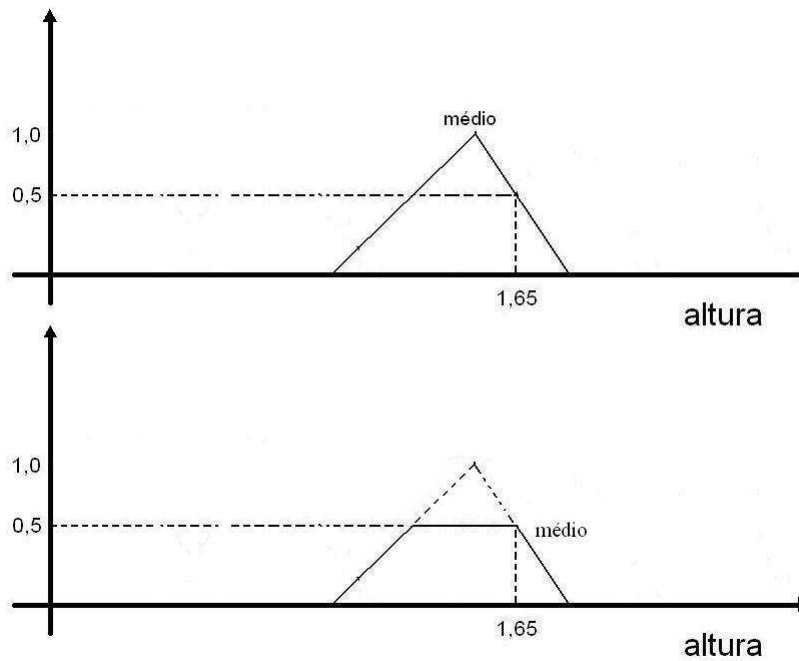


Figura 2.2: Etapa de *matching*, através da técnica de *clipping*. Note que os pontos cujo grau de pertinência era superior a 0,5, passaram a ter grau de pertinência igual a 0,5.

peso tiver grau de pertinência x para o conjunto Alto, e o valor que demos para Altura tiver grau de pertinência y para o conjunto Baixa, a força da afirmação “situação = Perigo” será $\min(x, y)$ (pois definimos interseção como operador de mínimo).

Após calcularmos a força da afirmação da variável de saída, é feita a etapa chamada *matching*, que consiste em redefinir os valores para a variável de saída, de acordo com cada conjunto nebuloso. A técnica mais usada é chamado *clipping*, que consiste em limitar os valores dos pares ordenados para este conjunto nebuloso em no máximo o valor definido pela força da afirmação. Tomando como exemplo a regra dita no parágrafo anterior, caso $\min(x, y) = 0,6$, o conjunto nebuloso “Perigo” da variável “situação” será redefinido com valores dentro do intervalo $[0,0 ; 0,6]$. A figura 2.2 mostra um exemplo de etapa de *matching*.

2.1.3 Sistemas Nebulosos

Um sistema nebuloso é um conjunto de definições de variáveis, conjuntos e regras nebulosas, seguindo um processo de entrada de dados, chamado de nebulização, e outro processo de saída de dados, chamado desnebulização [Demasi 2003]. A avaliação dos valores das variáveis com relação às regras nebulosas é chamado de motor de inferência.

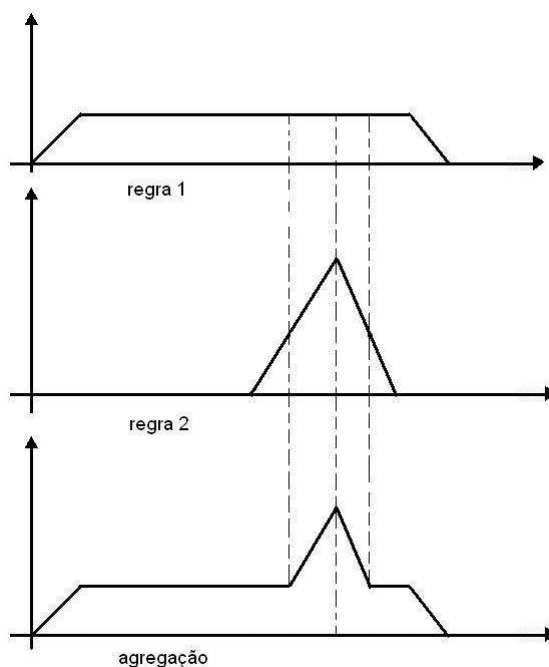


Figura 2.3: Um exemplo gráfico do funcionamento da agregação de duas regras nebulosas, através do operador de máximo.

A primeira etapa do sistema nebuloso é a nebulização. Ao receber um valor numérico como dado de entrada, associado a alguma variável nebulosa, calculamos o valor de pertinência deste dado de entrada para cada conjunto nebuloso relacionado à variável nebulosa. De forma rápida, o sistema transforma valores quantitativos e precisos em valores qualitativos nebulosos.

Tomando como exemplo o sistema que poderíamos fazer a partir da figura 2.1, com sua variável e seus conjuntos nebulosos, se o dado de entrada no sistema fosse 1,65, a etapa de nebulização passaria ao motor de inferência os seguintes dados de entrada para a variável nebulosa Altura: para o conjunto nebuloso “Médio” teríamos grau de pertinência 0,5 e para o conjunto nebuloso “Alto” teríamos o grau de pertinência 0,5. Para os conjuntos nebulosos “Muito Baixo”, “Baixo” e “Muito Alto”, o grau de pertinência seria 0,0.

A segunda etapa do sistema nebuloso consiste na passagem pelo motor de inferência. Esta é a etapa onde as regras do sistema nebuloso são verificadas e então é determinado qual é o resultado do sistema nebuloso, ou seja, o valor da variável de saída do sistema. Para cada regra, o procedimento descrito em 2.1.2 é executado.

Quando possuímos mais de uma regra avaliando um conjunto, passamos por uma etapa chamada agregação. Nesta etapa, cada regra gerará um valor de saída para cada par ordenado $(x, \mu_C(x))$. Estes valores para cada par são convertidos em apenas um valor final para um dos valores de x do par ordenado. Existem várias formas de executar esta etapa, mas a forma mais

utilizada em sistemas nebulosos é fazer a agregação por máximo, isto é, selecionar para cada ponto possível o maior valor gerado pelas regras.

Temos neste momento um par $(x, \mu_S(x))$ para cada valor no intervalo possível de S , sendo que S é a variável de saída do sistema nebuloso. Mas não podemos retornar apenas estes pares, e sim devolver como saída do sistema um valor numérico. A determinação deste valor numérico é chamado de desnebulização e é a terceira etapa de um sistema nebuloso. A desnebulização consiste basicamente em encontrar um ponto x dentro do universo de S para a saída, através de alguns critérios.

Existem vários critérios para retornar este valor, chamados de “métodos de desnebulização”. Comentaremos os métodos mais relevantes.

- Centro de área: Também chamado de Centróide, calcula $x \in S$ onde se encontra o centro da área da figura geométrica que pode ser desenhada pelos pares ordenados.
- Bissetor: Calcula x , pertencente ao universo de S , onde a partir da figura geométrica que pode ser desenhada pelos pares ordenados em duas, desenhamos uma reta vertical que divide as duas novas figuras em figuras de áreas iguais. Geralmente se encontra muito próximo ao Centro de área.
- Menor Valor de Máximo: Selecionamos todos pontos x_i com maior grau de pertinência. Escolhemos como saída o ponto x_i de menor valor.
- Maior Valor de Máximo: Selecionamos todos pontos x_i com maior grau de pertinência. Escolhemos como saída o ponto x_i de maior valor.
- Valor Médio de Máximo: Selecionamos todos pontos x_i com maior grau de pertinência. Determinamos o ponto x_i médio de todos os pontos, e o retornamos como saída.

2.2 Emoções

Na série de televisão Jornada nas estrelas, nos é apresentada uma espécie extra-terrestre chamada “Vulcano”. São basicamente como seres humanos, mas apresentando várias diferenças. Uma diferença é que eles vivem muitos anos a mais que os seres humanos. Outra, mais interessante, é que eles seguem um rigoroso treinamento para ignorar suas emoções, e agir apenas utilizando a lógica.

O ser humano não se assemelha a esta fictícia espécie. Como mencionado no capítulo 1, sempre que um ser humano precisar tomar uma decisão, seu lado emocional será levado

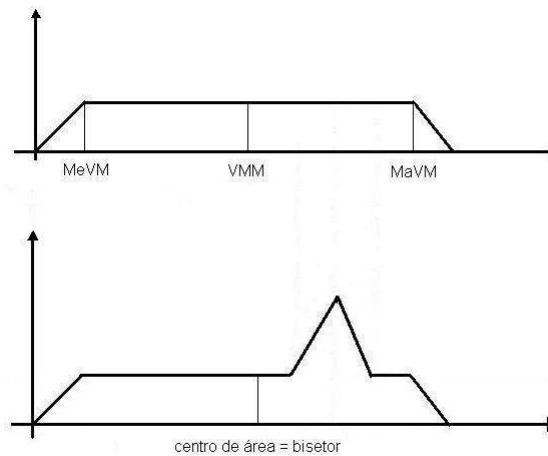


Figura 2.4: Exemplos de desnebulização utilizando Centro de Área, Bissetor, e Valores da Máximo. Notem que o Centro de Área e o Bissetor apontam para o mesmo ponto, apesar de não ser sempre este o caso.

em conta, pelo simples fato de que as diferentes áreas do cérebro são acionada quando precisamos agir. Estudos vêm mostrando cada vez mais que, caso consigamos impedir que emoções alterem nossas decisões, seremos uma espécie muito diferente, como veremos em 2.2.1 [Bear, Connors e Paradiso 2007].

Em 2.2.2 discutiremos propostas para categorizar as emoções humanas. Já em 2.2.3 discutiremos alguns modelos computacionais criados anteriormente para simular emoções humanas. Por fim, discutiremos em 2.2.4 problemas na implementação de um sistema inteligente com emoções.

2.2.1 Ponto de vista biológico

Para começar o entendimento biológico das emoções, vamos apresentar um pequeno resumo sobre a evolução do cérebro e sistema nervoso através de espécies, baseado no estudo de Miranda e Aldea [Miranda e Aldea 2005].

Em seu estudo, eles apontam que o cérebro humano possui uma região chamada tálamo, logo acima da coluna vertebral. Esta região, considerada a mais primitiva, controla as funções básicas do ser humano, como respiração ou caminhar. Doenças que implicam em disfunção nesta região do cérebro fazem com que o indivíduo não consiga controlar algumas funções que são fundamentais para sua sobrevivência, como fugir do perigo, se tornando um risco para o mesmo. Esta região do cérebro tem sua origem na Era dos dinossauros [Miranda e Aldea 2005], e podemos encontrar esta região em praticamente qualquer réptil ou mamífero atual.

Milhares de anos depois, uma nova região pode ser observada em espécies de mamíferos. Esta região, chamada de Sistema Límbico, é a responsável pela memória e por mecanismos de aprendizagem. Enquanto o réptil pode cheirar um alimento e o tálamo indicar que possui um cheiro potencialmente perigoso, fazendo que o réptil não o coma, o mamífero cheira o mesmo alimento, e o Sistema Límbico pode indicar que, apesar de possuir um cheiro potencialmente perigoso, no passado o indivíduo já comeu um alimento com este mesmo cheiro, sem ter consequências negativas, fazendo com que o mamífero coma o alimento. Caso o alimento não ocasione consequências ruins, a memória e os mecanismos de aprendizado reforçam que não há problemas em comer este alimento. Mas caso contrário, a memória e os mecanismos de aprendizado indicam que há um potencial de perigo neste alimento. A partir do surgimento do Sistema Límbico, espécies de mamíferos começam a expressar reações, como raiva ou medo.

O sistema límbico é o precursor de uma região do cérebro dos mamíferos, que surgiu mais recentemente, por volta de um milhão de anos atrás, chamada de Neocórtex, ou “cérebro Pensante” [Miranda e Aldea 2005]. Enquanto espécies com Sistema Límbico apenas expressam reações, o Neocórtex apresenta a experiência emocional, ou seja, a partir deste momento emoções afetam diretamente a vida do indivíduo. A partir deste momento vemos mamíferos com o famoso “instinto materno”. Enquanto répteis abandonam seus filhotes, mamíferos com Neocórtex, que possuem o “amor materno”, protegem seus descendentes [Miranda e Aldea 2005].

Um outro fato apresentado por Martínez e Miranda é a evolução do tamanho do cérebro nos mamíferos. Durante a evolução das espécies, o tamanho do cérebro cresceu, mas o crescimento não foi proporcional em cada região. Enquanto a região do Tálamo e Sistema Límbico se mantiveram praticamente constantes, o maior crescimento se deu na região do Neocórtex, e o tamanho do Neocórtex é o grande diferencial da espécie humana [Miranda e Aldea 2005].

Aliados a estes estudos, casos mostrados por John Harlow [Bear, Connors e Paradiso 2007] e Damasio [Miranda e Aldea 2005] indicam a função das emoções nos atos dos seres humanos. John Harlow foi o médico que tratou um paciente chamado Phineas Gage. Phineas Gage trabalhava em uma ferrovia em 1848, quando no dia 13 de setembro deste ano, sofreu um acidente. No acidente, uma barra de ferro atravessou seu rosto abaixo de seu olho esquerdo, saindo pela parte superior direita do crânio. Em parâmetros da época, acreditava-se na iminente morte do paciente, mas ele não apenas sobreviveu, como não teve nenhuma seqüela física.

A única alteração que Phineas Gage apresentou foi emocional. Todas as suas características emocionais foram afetadas, alterando completamente seu comportamento e forma de agir. De profissional dedicado e elogiado, passou a ser caracterizado como “impaciente, caprichoso e vacilante” [Bear, Connors e Paradiso 2007]. Seus amigos diziam que Phineas Gage não era

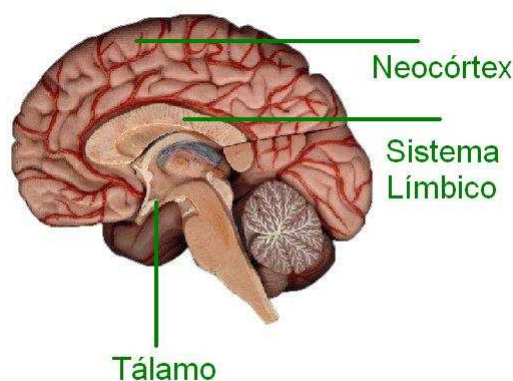


Figura 2.5: Localização do Tálamo, Sistema Límbico e Neurocórtex no cérebro humano.

mais o mesmo.

Já o paciente de Damasio se chamava Elliot [Miranda e Aldea 2005]. Ele possuía um tumor cerebral na parte da frente do cérebro (Córtex Frontal) que foi retirado com sucesso. Estudos foram feitos com Elliot que indicaram que seu quociente de intelecto se manteve intacto, assim como suas capacidades motoras e memória. Mas sua personalidade também foi bastante afetada. Elliot não conseguia mais expressar emoções, conseguindo contar episódios trágicos de sua vida como se o episódio não se relacionasse com sua pessoa. Como consequência deste acidente, não conseguia tomar decisões nem priorizar tarefas.

Ambos os casos se tornaram famosos na literatura médica, e são exemplos de como as emoções afetam particularmente a tomada de decisão do ser humano.

2.2.2 Representação de emoções

Determinar quantas e quais são as emoções humanas é uma tarefa difícil. A primeira dificuldade está em conseguir distinguir quando um sentimento começa e outro acaba, pois sabemos que podemos sentir mais de um sentimento ao mesmo tempo. Outra dificuldade está no fato de que cada indivíduo possui uma experiência pessoal sobre emoções, e portanto o que para alguém pode ser qualificado como um sentimento puro, para outra pessoa, pode ser parte de um sentimento maior.

Apesar disso, esforços foram feitos para criar modelos que representam todas as emoções humanas. Um dos modelos foi criado por Ortony, Clore e Collins, e se chama OCC [Ortony, Clore e Collins 1988]. Este modelo possui vinte e duas emoções, onze de conotação negativa, e onze de conotação positiva. As emoções ocorrem de acordo com três aspectos:

Relação a	Sentimento Gerado	
	Positivo	Negativo
Objeto	amor	ódio
Evento	alegria por ela	ressentimento
	regozijo	pena
	esperança	medo
	satisfação	medo confirmado
	alívio	desapontamento
Agente	felicidade	angústia
	orgulho	vergonha
Agente cometendo evento	admiração	reprovação
	prazer	remorso
	gratidão	raiva

Figura 2.6: Tabela com as emoções representadas pelo modelo OCC.

evento, agente, ou objeto. Citaremos agora as vinte e duas emoções, que também estão condensadas na figura 2.6.

Quando estamos lidando com objetos, apenas dois sentimentos podem ser gerados: “amor” e “ódio”.

Quando lidamos com eventos, os subdividimos em duas categorias: eventos que trazem consequências ao sujeito e eventos que trazem consequências a outra pessoa.

Os eventos que trazem consequências a outra pessoa, caso sejam desejadas por ela, geram duas emoções: “alegria por ela” e “ressentimento”; quando não são desejadas por ela, geram mais duas emoções: “regozijo” e “pena”. Quanto aos eventos que trazem consequências ao sujeito, eles podem ser divididos em eventos relevantes ou irrelevantes. Caso um evento seja relevante, a espera do evento pode te causar dois sentimentos: “esperança” e “medo”. Caso se confirme o evento, outros dois sentimentos são causados: “satisfação” e “medo-confirmado”; caso não se confirme, temos mais dois sentimentos: “alívio” e “desapontamento”. Caso o evento seja irrelevante, temos dois sentimentos: “felicidade” e “angústia”.

Já os sentimentos relacionados ao sujeito se dividem em duas subcategorias: quando o agente é o próprio personagem, gera “orgulho” e “vergonha”, ou quando é outro agente, gera “admiração” e “reprovação”.

Existem, por fim, quatro sentimentos que dizem respeito a um agente cometendo um evento. Os sentimentos, quando o agente é o personagem, são “prazer” e “remorso”, e quando o agente não é o personagem, temos os sentimentos de “gratidão” e “raiva”.

Outro modelo foi definido por Goleman [Goleman 1995]. As emoções são divididas em oito grandes grupos. Os oito grupos de emoção são: raiva, tristeza, medo, satisfação, amor, surpresa, desgosto, vergonha. Uma vantagem do padrão de Goleman é que, por apresentar as

emoções como uma quantidade pequena de grupos, implementações mais simples de representação de emoções podem se basear neste padrão, ou em partes dele.

Outros modelos foram implementados, muitos baseando-se em alguns objetivos específicos, como emoções que são demonstradas pelo rosto humano. Um exemplo que podemos citar neste caso é o padrão de Kshirsagar, que agrega as vinte e duas emoções do padrão OCC em seis grupos de emoções, com objetivo de facilitar a modelagem de expressões faciais: Alegria, Tristeza, Raiva, Surpresa, Medo e Desgosto [Alvim 2008].

2.2.3 Modelos computacionais de representação de emoções

Vários modelos para representar emoções em um dispositivo eletrônico já foram projetados, a maior parte baseados nestes padrões de emoção apresentados em 2.2.2. Três modelos foram estudados como forma de inspiração para o desenvolvimento de nossa proposta de trabalho em 3.1. Dois modelos, encontrados com mais detalhes em [Alvim 2008], são puramente teóricos, servindo como base para criação de modelos implementáveis. O terceiro modelo é chamado FLAME, e mais detalhes podem ser encontrados em [El-Nasr, Yen e Ioerger 2000].

Modelo PE

O modelo PE (Personalidade, Emoção) consiste em duas componentes: uma componente relacionada à personalidade do personagem, imutável, e outra componente relacionada à emoção que o personagem sente, alterável. O personagem possui várias personalidades, todas elas sendo representadas com um valor numérico dentro do domínio $[0..1]$, assim como as diversas emoções que podem ser sentidas, que são representadas da mesma forma que as personalidades.

Existe também uma estrutura que armazena o histórico dos valores das emoções em cada instante de tempo. Quando um instante de tempo passa, os valores para cada emoção são recalculados, e os valores antigos são transferidos para a estrutura que armazena os históricos.

Para calcular a emoção do próximo instante de tempo, o cálculo é feito envolvendo a personalidade, o histórico de emoções anteriores e as alterações de emoção que a passagem do tempo causou. Essas operações então são somadas às emoções sentidas atualmente pelo personagem.

Modelo PME

O modelo PME (Personalidade, Mood - estado de espírito -, Emoção) consiste em três componentes: as duas componentes do modelo PE, com o mesmo comportamento, acrescidas

de uma nova componente, que diz respeito ao estado de espírito do personagem, componente que também é mutável. O personagem possui vários estados de espírito, cada um com um valor numérico dentro do domínio $[0,1]$, além de um histórico de estados de espírito anteriores. Geralmente, quando iniciamos o sistema, o estado de espírito está em seu valor neutro.

Para calcular a emoção do próximo instante de tempo, primeiro calculamos o novo estado de espírito de acordo com a personalidade, o histórico de estados de espírito, o histórico de emoções, o estado de espírito atual e as alterações de estado de espírito que a passagem de tempo causou. Após isso, com o novo estado de espírito, calculamos a nova emoção baseado na emoção atual, na personalidade, no histórico de emoções, no histórico de estados de espírito, no estado de espírito recém-calculado e nas alterações de emoção que a passagem de tempo implica.

Modelo FLAME

O modelo Flame - Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions - é um modelo desenvolvido por El-Nasr, Ioerger, Yen, Parke e House, utilizando lógica nebulosa para representar emoções [El-Nasr, Yen e Ioerger 2000]. O modelo consiste de três componentes principais: o Componente de Decisão, o Componente Emocional, e o Componente de Aprendizagem.

O sistema se comporta como descrito a seguir. Quando o agente principal recebe um estímulo do ambiente, suas percepções do estímulo são passadas ao Componente de Emoção. O Componente de Emoção então consulta o Componente de Aprendizagem para verificar experiências passadas, além de expectativas que o personagem possuía. Estes três fatores geram as emoções que o personagem possui. As expectativas consistem de duas variáveis nebulosas chamadas desejo e importância.

Após a determinação das emoções, é feita uma filtragem das mesmas, para gerar uma única emoção final que gerará um comportamento do agente. Este comportamento do agente é passado ao Componente de Decisão, que decide a ação final do mesmo.

O conjunto de emoções escolhido foi o padrão OCC, e as emoções também variam conforme o humor do agente e possuem um decaimento de acordo com o tempo. Como não existe personalidade no personagem do modelo FLAME, podemos dizer que este modelo contém uma implementação baseada apenas em estado de espírito (chamado aqui de humor), e emoção.

2.2.4 Problemas no uso de emoções em sistemas inteligentes

Um sistema inteligente que utiliza uma simulação de emoções deve tomar uma atitude mais condizente com a que um ser humano tomaria caso estivesse em seu lugar. Mas precisamos sempre implementar um modelo de emoções para tomar alguma decisão? A resposta, obviamente é não, pois depende do contexto do problema.

Um exemplo é um sistema de controle aéreo. Sabemos que controladores de voo trabalham em um ambiente estressante, e milhares de vidas dependem das ordens dadas por eles. Um sistema que ajude a traçar rotas de forma inteligente, para ajudar o controlador, necessita retornar uma resposta precisa e baseada apenas nas entradas do sistema: o percurso e velocidade dos aviões. Caso coloquemos modelos de emoções humanas no sistema, como ansiedade e medo, rotas poderão ser projetadas de forma não ótima, ou pior: o sistema, por fazer uma boa simulação da decisão de um ser humano, pode cometer uma “falha humana”, ao mandar dois aviões tomarem a mesma rota e se chocarem.

Um outro problema de desenvolver um sistema com emoções consiste no fato de que é difícil conseguir determinar exatamente todas as emoções humanas. Como mencionado em 2.2.2, cada ser humano possui uma opinião própria sobre quais são as emoções principais, sub-emoções, onde encaixar alguma emoção em um super-grupo etc. Por mais que criem um modelo bem próximo da realidade, ele nunca será completo, e nunca teremos uma simulação perfeita de todas as emoções humanas.

Mas, por outro lado, é possível criar simulações envolvendo pequenas situações cotidianas, onde podemos criar um conjunto de emoções de forma mais consensual e em uma quantidade considerada razoável. É desta forma que muitos trabalhos são desenvolvidos, inclusive este que está sendo apresentado.

3 *Desenvolvimento do projeto*

Neste capítulo é apresentado o modelo proposto em, sua implementação, testes e resultados. A implementação do modelo foi desenvolvida utilizando a linguagem C++ e o paradigma de orientação a objetos. Foi utilizada como apoio a biblioteca LibFuzzy, mencionada em 3.2.1.

3.1 **Modelo desenvolvido**

O modelo desenvolvido se comporta de forma semelhante ao modelo FLAME, mas de uma forma simplificada. Podemos dizer que se baseia em um modelo que depende apenas da emoção e do histórico de emoções passadas, ignorando a personalidade do personagem, ou o estado de espírito do mesmo, pois em um estágio inicial, assumimos como hipótese inicial que é suficiente para definir emoções em um jogo eletrônico.

Neste modelo definimos que, em um jogo eletrônico, existem vários cenários que o personagem controlado pelo computador irá se deparar. As características de cada cenário que o personagem se encontra são os dados de entrada do modelo, e a partir destes dados o modelo avalia quais as emoções serão passadas ao personagem, e qual o comportamento que tomará.

Ao implementar o modelo, o desenvolvedor considerar quais variáveis do cenário deverão ser relevantes para alterar o comportamento de seu personagem, e quais sentimentos e comportamentos que serão definidos na implementação.

A figura 3.1 apresenta o esquema do modelo. Os detalhes de cada parte do mesmo estão detalhados nas subseções abaixo, e a seção 3.2.3 detalha a sua implementação, explicando o funcionamento de cada componente.

3.1.1 **Avaliador de Cenário**

É o início do sistema, e determina como são os dados de entrada do problema.

O personagem, ao entrar em um cenário busca uma quantidade de informações deste cená-

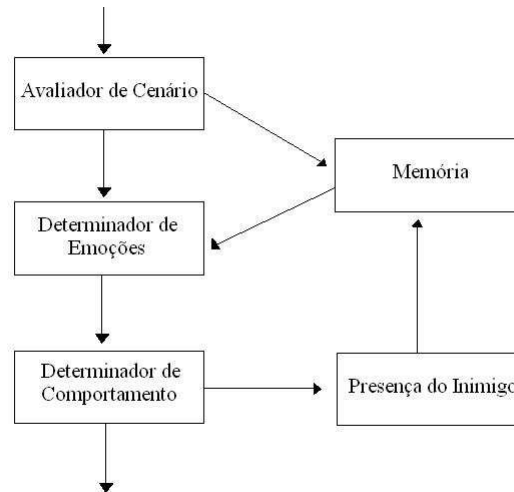


Figura 3.1: Esquema de funcionamento do modelo proposto para o trabalho.

rio. Cada uma destas informações será tratada no Avaliador de Cenário. O tratamento é feito com um valor numérico real, em um intervalo determinado, de preferência entre 0 e 1.

Após a determinação dos valores de entrada, o sistema passa esses valores ao Determinador de Emoções, o primeiro sistema nebuloso do modelo.

3.1.2 Determinador de Emoções

Os valores numéricos correspondentes às informações do cenário são então passadas ao Determinador de Emoções. O Determinador de Emoções recebe essas informações e as coloca como valores de entrada para o primeiro sistema nebuloso.

O Determinador de Emoções usa essas entradas, e baseado em regras pré-definidas, gera como saída os valores numéricos relacionados a cada emoção do modelo. As emoções então serão enviadas para o determinador de comportamento.

3.1.3 Memória

A memória armazena informações relacionadas a eventos passados. No momento em que o personagem entra em um cenário, as informações do mesmo são repassadas à memória, que então verifica se em cenários anteriores houve ou não a ocorrência de inimigos, tornando-o mais ou menos ameaçador.

Essa memória tem a função de alterar o resultado numérico das emoções que são dadas

como saída do Determinador de Emoções. Quando o personagem está em um ambiente que se assemelha a ambientes anteriores e que apresentavam inimigos, a tendência natural é que os sentimentos negativos sejam estimulados, enquanto sentimentos positivos percam seu estímulo.

Segundo [El-Nasr, Yen e Ioerger 2000], as memórias de eventos negativos devem ser mais importantes que memórias de eventos positivos. A justificativa se dá porque o ser humano tem como reação instintiva memorizar melhor o que lhe faz mal, pois assim consegue ser mais cauteloso e tem uma probabilidade maior de sobreviver em um ambiente hostil. Um outro conceito que deve ser lembrado é que eventos mais recentes devem ter uma influência maior que um evento que ocorreu em um passado já distante, pois eventos recentes costumam ser lembrados com mais detalhes, enquanto eventos mais distantes perderam alguns detalhes, e por isso têm menor influência.

3.1.4 Determinador de comportamento

Após a alteração dos valores de saída do Determinador de Emoções pela memória, esses resultados numéricos das emoções são então passados como valores de entrada no segundo sistema nebuloso.

Este sistema nebuloso tem a função de, a partir dos valores das emoções, gerar o resultado final do comportamento do personagem. Este valor será um valor numérico, que irá afetar de alguma forma o seu comportamento, agilizando ou não suas ações.

3.1.5 Presença do Inimigo

Após a determinação de seu comportamento pelo modelo de emoções, o personagem se depara ou não com a presença de um inimigo, que o confrontará. Esse evento alterará a memória, melhorando a opinião do personagem com relação a essa configuração de cenário caso não encontre um inimigo, ou piorando a opinião do personagem com relação a essa configuração de cenário caso encontre um inimigo.

3.2 Implementação

O desenvolvimento do sistema consistiu em duas etapas. A primeira etapa foi a implementação do modelo, enquanto a segunda etapa foi o desenvolvimento de uma interface para que possamos determinar de forma mais intuitiva os valores de entrada do cenário e conferir o resultado final do comportamento em uma forma não somente numérica.

3.2.1 Biblioteca LibFuzzy

Para desenvolver o sistema foi utilizada a biblioteca LibFuzzy. Esta é uma biblioteca desenvolvida em C++ por Bruno Bottino Ferreira e Rafael Oliveira Lopes, durante os anos de 2008 e 2010, no Laboratório de Inteligência Computacional (LabIC) do Núcleo de Computação Eletrônica.

A biblioteca tem como função implementar os modelos nebulosos Mamdani e Takagi-Sugeno[Yen e Langari 1999]. O usuário que deseja utilizar a biblioteca cria um arquivo com as configurações do sistema nebuloso, como forma de fazer a interseção, forma de fazer a união, forma de desnebulização, regras do sistema etc. Esse arquivo, que tem a terminação “fis”, é lido durante o programa principal e serve de base para gerar classes que irão determinar o funcionamento do sistema.

Para executar o sistema, determina-se os valores das variáveis de entrada do sistema nebuloso, de uma forma muito parecida com a atribuição de valor a uma variável em um programa em C++, e executa-se uma instrução de ativação do sistema. Após a execução, é possível ler os valores de saída do sistema nebuloso criado, em uma forma muito parecida com a leitura de uma variável em C++.

A biblioteca LibFuzzy foi tema de duas apresentações na Jornada de Iniciação Científica, em 2009[Lopes 2009] e 2010[Lopes 2010].

3.2.2 Escolha das Emoções

Na subseção 2.2.2 mencionamos dois padrões de emoções criados, o OCC e o Goleman, além de uma simplificação do OCC. Também foi mencionado em 2.2.4 que uma boa abordagem é trabalhar com problemas mais simples, onde podemos definir de forma mais clara as emoções.

Neste trabalho, apresentamos uma situação onde o personagem entra em um cenário por vez. Cada cenário possui três variáveis, cujas características tendem a dar medo ao personagem ou deixá-lo mais confiante enquanto percorre o mesmo. Finalizando o cenário, existe a possibilidade de ocorrer um confronto entre o personagem e o inimigo.

Com esta característica, escolhemos lidar basicamente com duas emoções: Medo e Alegria, ambas emoções são grupos de emoções do padrão de Goleman. Mas Alegria, no contexto de uma situação de enfrentamento não se demonstra como uma escolha apropriada de emoção, portanto recorreremos a uma emoção que se encaixa de forma melhor no contexto e pertence ao grupo Alegria. A escolha foi escolher a emoção Confiança.

Portanto, as duas emoções determinadas para a implementação do modelo são Confiança (pertencente ao grande grupo alegria) e Medo, ambas derivadas do modelo de Goleman.

3.2.3 Funcionamento do modelo

Nesta sub-seção detalharemos como cada componente da figura 3.1 foi implementada.

Avaliador de Cenário

Quando um personagem entra em um cenário novo, três informações são passadas ao sistema.

A primeira informação é denominada “ambiente”. Essa informação especifica o aspecto geral de um cenário, que indica quem pode se sair vantajoso neste cenário. Como há a possibilidade de um confronto entre o personagem e um inimigo neste cenário, caso o cenário seja vantajoso para o inimigo, o caracterizamos como “hostil” e caso seja vantajoso para o personagem, o caracterizamos como “amigável”. Um ambiente “normal” é definido como um ambiente onde não há uma vantagem clara para algum dos dois. Determinamos o valor de ambiente com um número real dentro do intervalo [0.0; 1.0], onde o valor 0.0 determina o ambiente mais hostil possível para o personagem, o valor 1.0 determina o ambiente mais amigável possível para o mesmo, e o valor 0.5 sendo um valor caracterizado como um ambiente normal.

A segunda informação é denominada “iluminação”. Essa informação especifica o quão iluminado está um cenário. Uma iluminação “baixa” apresenta nenhuma iluminação natural ou artificial, estando o cenário em completa escuridão. Uma iluminação “alta” apresenta iluminação natural ou artificial muito forte, de forma que nenhum local fica mal-iluminado, e você consegue enxergar bem os detalhes do cenário. Uma iluminação “normal” é definida como uma iluminação onde em geral está tudo claro, mas apresenta uma boa quantidade de sombras e locais escuros no cenário. Determinamos o valor de cenário como um número real dentro do intervalo [0.0; 1.0], onde o valor 0.0 determina a iluminação mais baixa possível, o valor 1.0 determina a iluminação mais alta possível, e o valor 0.5 como uma iluminação normal.

A terceira informação é denominada “som”. Essa informação especifica como o personagem interpreta os sons escutados no ambiente em que está. Um som pode ser caracterizado como “assustador” caso o som seja algo desconhecido pelo inimigo, ou reconhecido como uma ameaça direta. Um som pode ser caracterizado como “amigável” caso o personagem reconheça o som como originado de amigos, ou como algo que lhe dará uma vantagem em algum ocasional enfrentamento. Um som “normal” seria um som neutro, que não ameaça o personagem, mas

também não o ajudará. Determinamos o valor de som com um número real dentro do intervalo [0.0; 1.0], onde o valor 0.0 determina o som mais assustador possível para o personagem, o valor 1.0 determina o cenário mais amigável possível para o mesmo, e o valor 0.5 sendo um valor caracterizado como um som normal.

Determinador de Emoções

O determinador de Emoções é o primeiro sistema nebuloso do modelo, como visto em 3.1.2. Possui três entradas, duas saídas e 21 regras. Cada variável de entrada corresponde a uma informação determinada no item anterior. As duas variáveis de saída correspondem às duas emoções escolhidas em 3.2.2. Os detalhes sobre cada variável estão na figura 3.2.

Para determinar a forma de interseção e união, foram testadas as opções existentes, e analisados os resultados com cada configuração. A escolha que se mostrou mais adequada aos propósitos do sistema foi determinar a interseção como mínimo, e união como máximo.

Para determinar o método de desnebulização, a mesma idéia foi adotada. Todas as formas clássicas de desnebulização foram testadas, mas com um detalhamento maior, pois este será o valor final que o sistema nebuloso passa ao programa. Os métodos de desnebulização baseados em determinar um ponto no platô de valor máximo foram descartados logo de início. O motivo consiste no fato de que o platô não necessariamente se encontra em um ponto ideal e em muitos valores de entrada, resultados finais para “medo” e “confiança” se mostraram insatisfatórios. As melhores formas de desnebulização encontradas foram por centróide e bissetor, com uma diferença mínima de valores. Foi escolhido bissetor pois esta forma amplia o intervalo possível de valores de saída.

Para gerar as regras, inicialmente criou-se um questionário, com 13 perguntas relativas a possibilidades de cenários, que foram apresentadas a um grupo de jogadores. O objetivo do questionário era, através das respostas obtidas, conseguir determinar com uma maior exatidão qual seria a resposta para as diferentes possibilidades de cenário. Entre as 13 perguntas, duas perguntas tinham o objetivo de efetuar um controle. Elas apresentavam situações extremas (como ambiente hostil, iluminação baixa, e som assustador) e o resultado dessas situações extremas na pesquisa deveria ser de medo, para o resultado extremo negativo, ou confiança, para o resultado extremo positivo.

Essas duas perguntas de controle se mostraram importantes, pois diagnosticaram que a pesquisa era falha. A pergunta que apresentava situação extrema positiva apresentou uma grande quantidade de pessoas escolhendo como resposta a opção “calma”. O motivo para a falha

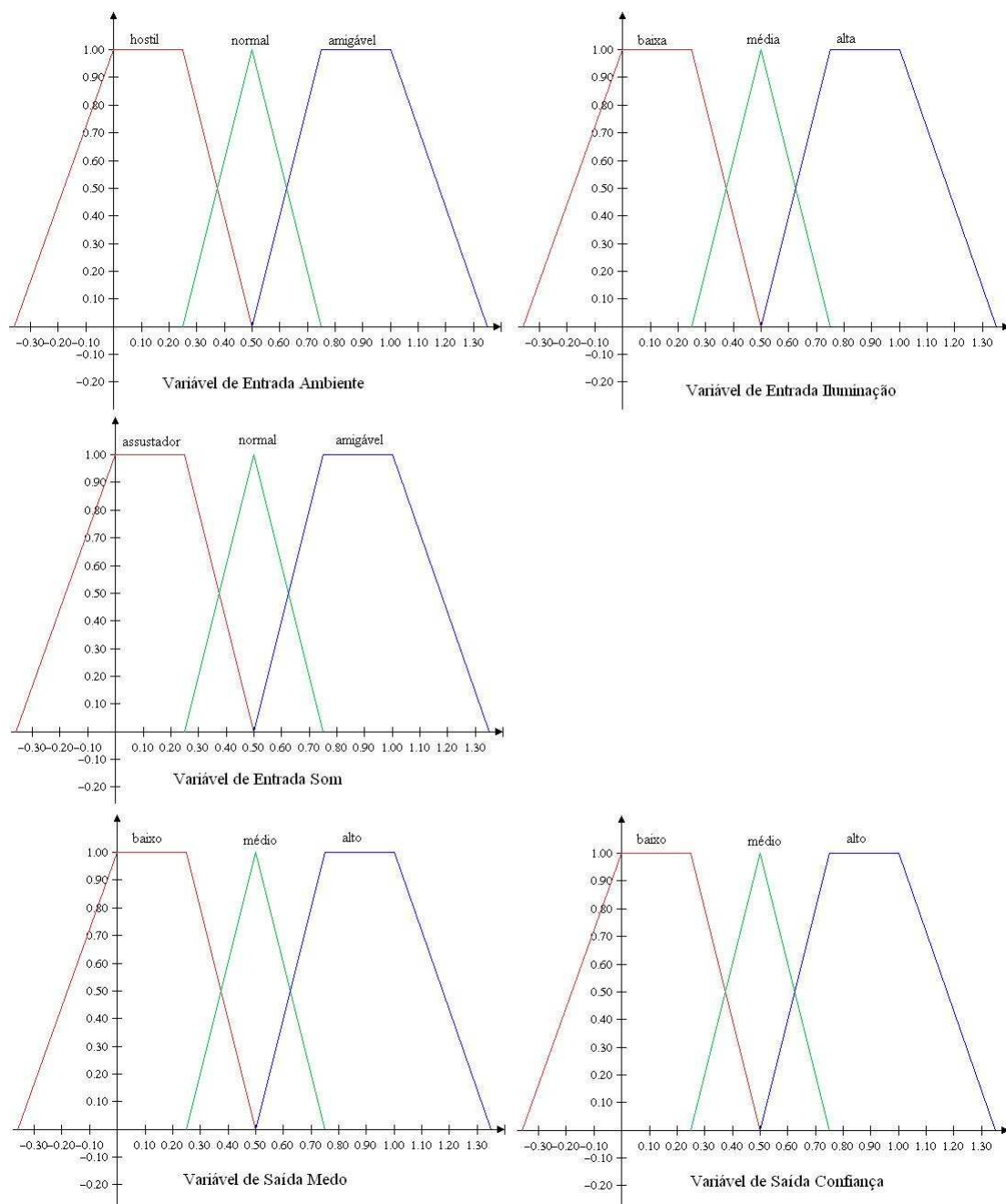


Figura 3.2: Variáveis de entrada e saída do sistema nebuloso do Determinador de Emoções.

encontra-se nos cenários descritos e na história. A história apresentada no questionário foi avaliada como uma história em que as pessoas tenderiam normalmente para o medo, e que não era muito possível sentir confiança nos cenários, suspeitando de emboscadas mesmo que um cenário excelente fosse descrito. Um outro problema é que, ao invés de definir um intervalo (por exemplo, de 1 a 10) e pedir que a pessoa escolhesse um valor dentro deste intervalo para definir o quanto sentiria aquela emoção dentro do cenário, pediu-se para apenas determinar se a pessoa entrevistada sentia medo, confiança ou calma. Para o contexto de lógica nebulosa, a opção de graduação dos sentimentos seria muito mais interessante, e talvez trouxesse uma resposta mais acurada. Portanto, esta pesquisa teve seus resultados inutilizados.

Esta pesquisa inicial serviu para indicar qual das três variáveis se mostrava mais importante para determinar os valores dos sentimentos. A variável que, variando, mais afeta os sentimentos de um jogador neste cenário, é o som. Por mais que alguém esteja em um ambiente amigável, e com iluminação alta, se sons assustadores forem ouvidos, o jogador tende a sentir uma confiança menor, e um medo maior. As regras então foram criadas com a preocupação de considerar sempre os valores do som como mais importantes.

Como cada variável tem três possibilidades, deveríamos ter vinte e sete regras, mas foi possível resumir algumas regras em um grupo menor de regras, de forma que essas regras novas conseguem abranger as antigas, e essas regras antigas sejam removidas. Um exemplo pode ser dado com o ambiente hostil e som assustador. As três opções de iluminação davam como resposta o sentimento de medo como alto, e sentimento de confiança como baixo. Portanto, foi possível juntar as três regras em potencial em apenas uma regra. Dessa forma foi possível reduzir para apenas vinte e uma regras. As regras se encontram na figura 3.3

Memória

A memória foi implementada como uma matriz 101 x 101 x 101, onde cada dimensão corresponde ao valor dado como entrada em uma variável. O valor de entrada das variáveis é um número real, e por isso decidiu-se que cada célula na tabela corresponde a um intervalo de tamanho 0.01 dentro do intervalo possível. Por exemplo, a quinta célula em alguma dimensão da tabela corresponde ao valor dentro do intervalo [0,04; 0,05[.

Após o Determinador de Emoções calcular o valor para cada emoção, consultamos a memória para buscar as informações relativas para aquele cenário, alterando então o valor das emoções que o personagem possui. Na implementação, é feita uma chamada à matriz de memória, que busca o valor na matriz referente aos valores das três variáveis de entrada do Determinador de Emoções (cada dimensão da matriz corresponde ao valor de uma variável de entrada).

Som = Assustador

		Iluminação					
		Baixa		Normal		Alta	
		Medo	Confiança	Medo	Confiança	Medo	Confiança
Ambiente	Hostil	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo
	Normal	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Médio
	Amigável	Alto	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio

Som = Normal

		Iluminação					
		Baixa		Normal		Alta	
		Medo	Confiança	Medo	Confiança	Medo	Confiança
Ambiente	Hostil	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Médio
	Normal	Alto	Baixo	Médio	Médio	Baixo	Alto
	Amigável	Médio	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Alto

Som = Amigável

		Iluminação					
		Baixa		Normal		Alta	
		Medo	Confiança	Medo	Confiança	Medo	Confiança
Ambiente	Hostil	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo	Alto
	Normal	Médio	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Alto
	Amigável	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto

Figura 3.3: Tabelas representando as regras nebulosas e suas implicações para as duas variáveis de saída do sistema nebuloso do Determinador de Emoções.

Um fator importante é que devemos lembrar que existe uma inexatidão na hora de determinar um cenário. Uma pessoa não conseguiria determinar com exatidão qual a diferença entre um ambiente com valor 0,84 e 0,85, por exemplo. Por isso, é importante que a informação recolhida da matriz não seja recolhida apenas da posição referente a ela na matriz, mas sim de seus vizinhos, com um peso menor para as posições vizinhas.

Portanto, o valor retornado quando se consulta o valor da matriz é uma média ponderada entre a soma dos valores das posições de memória das células vizinhas à posição correta, com o valor na posição correta de memória tendo um peso equivalente à quantidade de vizinhos.

Os valores na tabela são inicializados com um valor 1,0, pois é o valor neutro da operação de multiplicação. Cada célula da matriz da memória aceita um valor entre 0.01 ($\frac{1}{100}$) e 100. Esta forma de representar o intervalo implementa o conceito de que memórias boas afetam menos que memórias más. Isto acontece, pois, para alterar o valor de saída para metade de seu valor, é necessário que o retorno da memória seja 0,5, enquanto para aumentar para o seu dobro, o retorno da memória seja 1,0.

Após esta consulta à memória, os valores de cada emoção são alteradas através de uma multiplicação entre o valor definido pelo Determinador de Emoções e o valor retornado pela Memória.

A memória também atua após verificar a presença, ou não, do inimigo, sendo alterada. Para fazer a alteração, é calculado um valor intermediário, que consiste do valor original da célula acrescido (caso não teve inimigo) ou decrescido (caso teve inimigo) de um fator de 0,2. Então é feito uma média aritmética entre o valor original da célula e o valor intermediário. Estendendo as operações de média aritmética para n cenários, podemos perceber que valor calculado no n -ésimo cenário acaba tendo importância muito maior que o valor do primeiro cenário. Esta é a forma escolhida para implementar o conceito de que eventos recentes são mais importantes que eventos mais antigos.

Da mesma forma que o retorno do valor final da memória necessita da informação das células vizinhas, a alteração em uma célula de memória também altera as células vizinhas. O cálculo do novo valor funciona de forma bem parecida com o cálculo do valor discutido anteriormente. É feito o cálculo do valor intermediário da mesma forma, mas ao invés de utilizar uma média aritmética, o valor final é calculado através de uma média ponderada onde o valor original na célula possui peso 3 e o novo valor possui peso 1. O motivo de termos uma média ponderada é porque não estamos afetando a posição de memória correta, e sim uma vizinha.

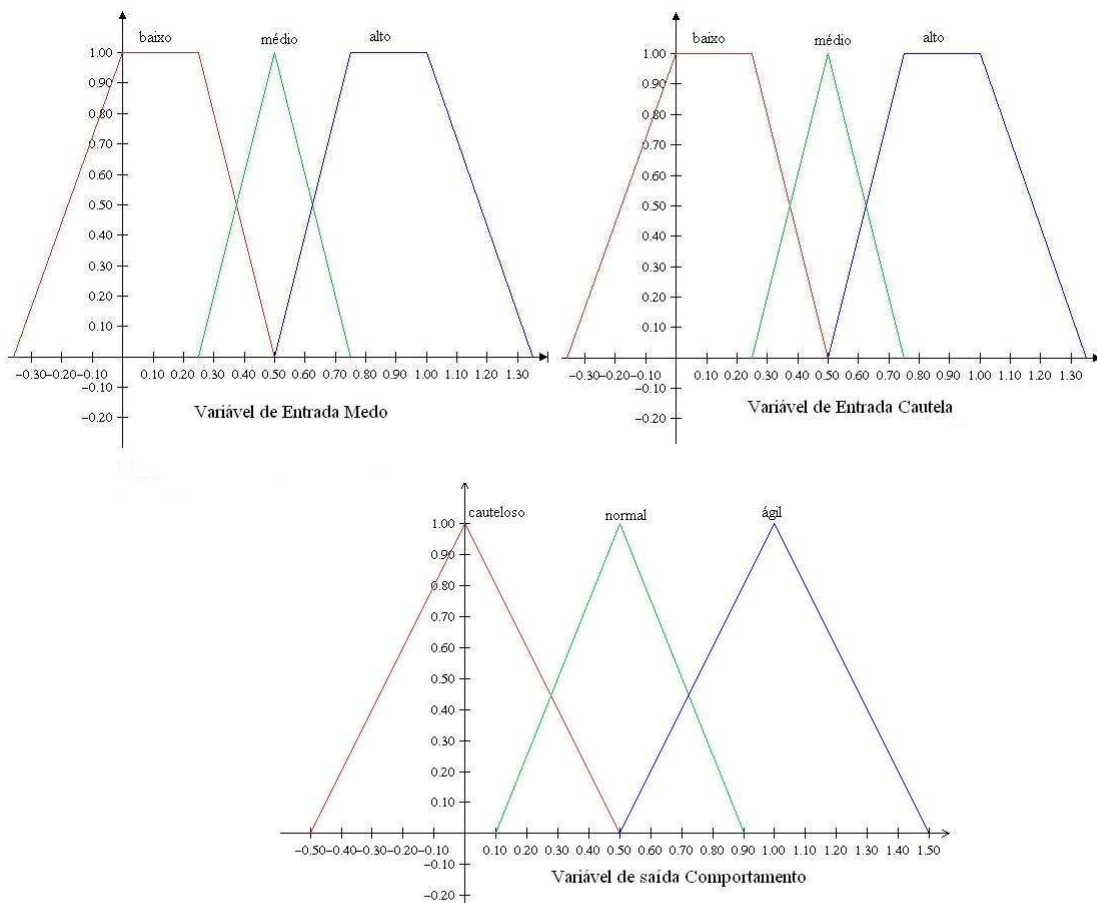


Figura 3.4: Variáveis de entrada e saída do sistema nebuloso do Determinador de Comportamento.

Determinador de Comportamento

O Determinador de Comportamento é o segundo sistema nebuloso do modelo, como visto em 3.1.2. Ele possui duas entradas, uma saída, e nove regras. Cada variável de entrada corresponde a uma emoção calculada no Determinador de Emoções, e alterada pela Memória. A saída define o comportamento que o personagem pode apresentar, de acordo com suas emoções. Os detalhes sobre cada variável estão na figura 3.4.

Assim como para o Determinador de Emoções, para determinar as formas de união, interseção e desnebulização, as opções existentes foram testadas e analisados os resultados para as configurações. A escolha que se mostrou mais adequada aos propósitos do sistema, assim como no Determinador de Emoções, foi determinar a interseção como mínimo, e união como máximo. O método de desnebulização também foi escolhido como bissetor, com as mesmas

		Medo		
		Baixo	Médio	Alto
Confiança	Baixo	Normal	Cauteloso	Cauteloso
	Médio	Ágil	Normal	Cauteloso
	Alto	Ágil	Ágil	Normal

Figura 3.5: Tabela representando as regras nebulosas e suas implicações para a variável de saída do sistema nebuloso do Determinador de Comportamento.

justificativas do determinador de Emoções.

Existiam nove regras em potencial para serem geradas. Como a quantidade de regras em potencial era pequena, foi mais fácil determinar as regras sem fazer uma pesquisa com pessoas. No final, o sistema foi definido com nove regras, onde a pior regra possível deveria ter como consequência o pior comportamento possível e a melhor regra possível deveria ter como consequência o melhor comportamento possível. As outras regras foram adaptadas a estas duas regras. As regras se encontram na figura 3.5.

Presença do Inimigo

A presença do inimigo é representada no sistema como uma variável booleana, admitindo um valor verdadeiro para a presença do inimigo e um valor falso para sua ausência. O usuário pode determinar a presença do inimigo de duas formas:

- Ao descrever as características do cenário, o usuário determina se o mesmo terá um inimigo enquanto o personagem está no cenário.
- Ao descrever as características do cenário, o usuário deixa a determinação do cenário de forma aleatória.

A existência das duas possibilidades existe para possibilitar uma experiência mais completa com o sistema, onde uma escolha aleatória representa o mundo real, onde não se sabe exatamente se cada cenário terá um inimigo ou não, e a escolha condicionada serve para fazer uma análise da evolução dos cenários ao passar do tempo, já sabendo se haverá ou não inimigos.

3.2.4 Desenvolvimento da Interface

Um aspecto interessante em desenvolver uma interface gráfica para o sistema é a necessidade de ver os resultados do comportamento em uma forma não numérica. Para lidar com

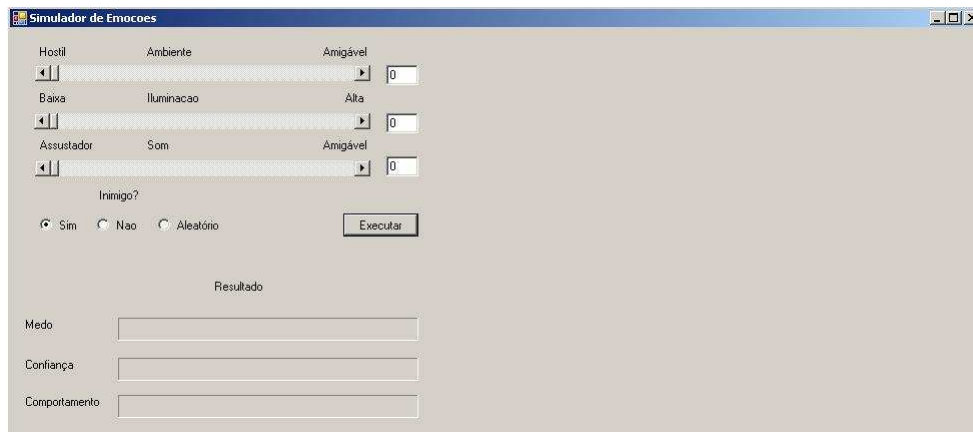


Figura 3.6: Interface Gráfica desenvolvida em .NET para o modelo.

resultados naturalmente imprecisos, retornar como saída um valor numérico pode não ser tão satisfatório quanto apresentar um resultado gráfico, onde o valor de saída representa algo na tela, como, por exemplo, velocidade do personagem.

O desenvolvimento da interface foi implementado utilizando a plataforma .NET. O motivo da escolha se deu pela facilidade de implementação de interfaces nesta plataforma, além de um conhecimento prévio da mesma. Na figura 3.6 podemos ver a tela inicial do sistema, ou quando não temos a execução do sistema para nenhum cenário.

Na interface, as três barras de rolagem horizontais definem o valor numérico para as três variáveis Ambiente, Iluminação e Som. Abaixo das barras de rolagens, encontra-se a *radio-button*, onde é possível determinar a existência de um inimigo.

Ao clicar no botão “Executar”, os resultados do primeiro sistema nebuloso (“Medo” e “Confiança”) são apresentados nas duas primeiras barras de progresso, no canto inferior da janela. O resultado do segundo sistema nebuloso (“Confiança”) encontra-se na última barra de progresso.

Ao lado das opções de configuração de cenário, quando o sistema está em execução para um determinado cenário, encontramos o resultado do cenário executado, com um personagem correndo, como podemos ver na figura 3.8. As três opções de cenário de fundo estão na figura 3.7. O ambiente é representado por uma imagem de fundo, que se locomove a uma velocidade proporcional ao valor final do comportamento: quanto maior o valor do comportamento, mais rápida sua movimentação. Esta locomoção da imagem de fundo dá a sensação de que o personagem se locomove com uma velocidade maior ou menor, conforme o valor de seu comportamento.

É possível executar um novo cenário com as mesmas configurações, alterando apenas a



Figura 3.7: Cenários de fundo disponíveis para execução, de acordo com as características do ambiente dadas como entrada.

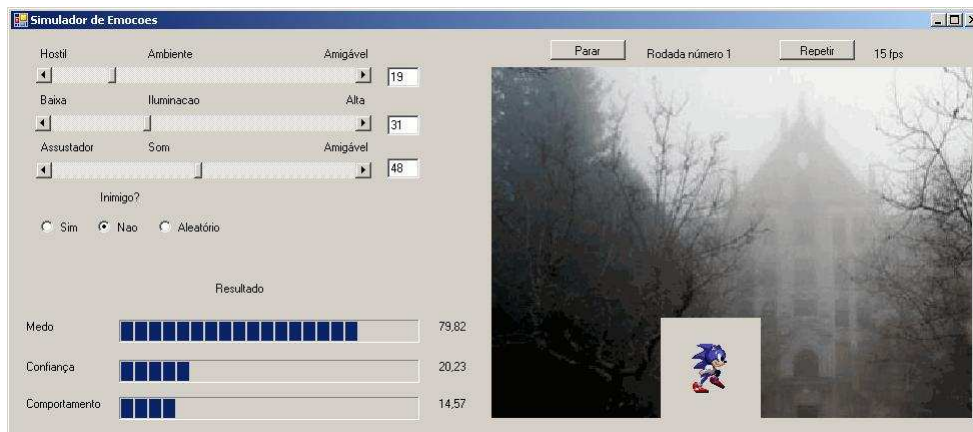


Figura 3.8: Sistema em execução através da interface gráfica.

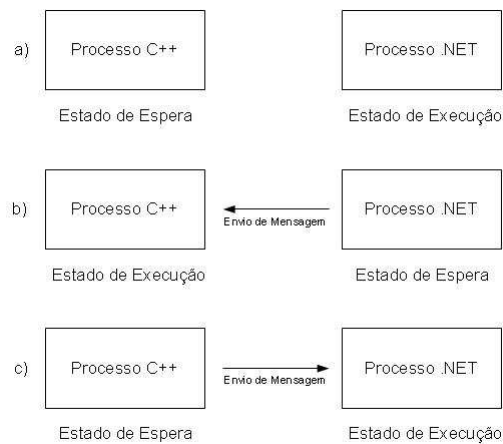


Figura 3.9: Funcionamento da comunicação entre os processos.

opção de escolha da presença de inimigo.

3.2.5 Comunicação entre processos

Tanto o sistema em C++ como a interface gráfica na plataforma .NET são dois processos diferentes, mas a interface gráfica é dependente do sistema em C++, que precisa esperar uma mensagem da interface gráfica com os valores do cenário definidos pelo usuário para executar os sistemas nebulosos e devolver seus valores de retorno.

Foi implementada então uma forma de comunicação entre os processos, baseada em troca de mensagens. A forma de comunicação é uma implementação simples da idéia do conceito de Troca de Mensagens, apresentado em [Stallings 2004]. O funcionamento é mostrado na imagem 3.9.

Na figura 3.9 item a), é mostrado o primeiro estado em que os dois processos estão. A interface gráfica fica em estado de execução, que significa que está aguardando que o usuário configure o cenário e clique no botão Executar, enquanto o processo em C++ fica em estado de espera, em um loop aguardando a mensagem de liberação para rodar o sistema.

Esta mensagem de liberação constitui-se de um arquivo que é criado pela interface gráfica, contendo os valores do cenário e a ocorrência ou não de inimigo. Quando o sistema verifica que o arquivo foi criado, lê os dados no arquivo e o apaga. Então começa sua execução.

A figura 3.9 item b) mostra a partir do momento em que a mensagem é percebida pelo sistema, e ele entra em execução. A interface gráfica entra em estado de espera, aguardando uma mensagem que a permite retornar a executar, enquanto o sistema em C++ executa os sistemas

nebulosos e altera a memória. No momento em que os valores de Medo, Confiança e Comportamento são retornados, um arquivo com esses valores é gravado. Esse arquivo é a mensagem que a interface gráfica aguarda para voltar a executar.

A figura 3.9 item c) mostra o último instante do ciclo. A mensagem para liberar a interface gráfica é criada, a interface lê os resultados dos sistemas nebulosos e os imprime na tela, enquanto o sistema em C++ está em estado de espera. Neste momento, voltamos ao estado representado pelo item a).

3.3 Testes e Resultados

O primeiro teste feito consistiu em verificar se o sistema e as regras criadas para sistemas nebulosos eram consistentes. Várias configurações de cenário foram testados, e o objetivo foi verificar se resultados apresentados mostravam claramente que conforme o cenário melhorasse quantitativamente, a emoção de confiança aumentaria seu valor de saída, e a emoção de medo diminuiria seu valor de saída. O sistema se mostrou consistente, com as emoções claramente melhorando conforme o cenário melhorava em geral.

O segundo teste feito visava verificar se em um determinado cenário era possível obter um comportamento oposto ao esperado de forma inicial, devido a alterações de memória. Foi verificado que a memória do sistema consegue alterar o comportamento do personagem de forma significativa após uma quantidade razoável de cenários percorridos com esta configuração, mostrando a eficácia da memória no sistema e a importância da mesma para a representação de emoções.

O último teste consistiu em verificar com usuários se eles concordavam com as saídas geradas pelo sistema com relação às emoções e aos comportamentos. Este teste mostrou-se complicado, devido ao fato de cada pessoa possuir um conceito pessoal sobre como expressar as emoções, e suas atitudes. Portanto a idéia de fazer uma análise quantitativa sobre quantos concordariam com o sistema foi abandonada.

O que foi feito então com os usuários foi o que podemos chamar de sessão de *Beta-testing*. Usuários foram chamados para testar o sistema, dar sua opinião, e caso discordassem de resultados, sugeririam mudanças no funcionamento do sistema. Essa sessão de *Beta-testing* teve como resultado um aprimoramento das regras criadas inicialmente, de forma que se assemelhassem mais com os resultados esperados por quem testou o sistema. Essas regras aprimoradas foram vistas em 3.2.3.

4 *Conclusões e trabalhos futuros*

Neste capítulo são apresentadas as dificuldades apresentadas durante a elaboração do trabalho, as conclusões e críticas sobre o mesmo e propostas de trabalhos futuros.

4.1 **Dificuldades apresentadas**

A primeira dificuldade que foi encontrada foi encontrar assunto relacionado ao tema. Exatamente pelo fato de ser um assunto não muito explorado, a bibliografia não é tão farta quanto outros assuntos que poderiam ser discutidos em um Projeto Final de Curso. Se limitarmos mais ainda o conceito à aplicação da idéia a um jogo eletrônico, o problema piora, pois muitas implementações deste tipo não são publicadas, pois são um produto comercial onde este fator pode ser o determinante para a vitória na concorrência contra outros jogos do mesmo estilo.

Durante a implementação do projeto, outra dificuldade percebida e já comentada, consiste no fato de que as pessoas em geral não possuem uma visão única no assunto emoções. Pedir para responder um questionário ou dar sua opinião se a implementação se comporta de forma correta acaba sendo mais trabalhosa que o normal. Foi fundamental pensar em formas de contornar este problema, que apareceu diversas vezes durante o desenvolvimento do Projeto Final.

Uma última grande dificuldade encontrada que merece ser mencionada aconteceu durante o desenvolvimento da interface gráfica. A opção por utilizar a plataforma .NET foi uma última opção, após esgotadas várias outras possibilidades fracassadas, como tentativas de utilizar as bibliotecas para C++ Allegro e SDL, além da tentativa de desenvolver em Qt. Uma outra tentativa foi feita em Java com JNI, para integrar os dois processos, também fracassada. Por fim, decidiu-se utilizar a plataforma .NET, que apesar de apresentar problemas durante o desenvolvimento, teve funcionamento mais eficiente.

4.2 Conclusões sobre o modelo

Sabemos que é praticamente impossível simular todas as emoções humanas através de um modelo. No entanto, dentro do escopo de trabalho determinado por nós (um conjunto limitado de emoções, uso em jogos eletrônicos), verificamos que a simulação apresenta resultados satisfatórios.

Este modelo, se implementado eficientemente em algum jogo eletrônico, obviamente com algumas poucas alterações, poderá tornar o comportamento do personagem controlado pela inteligência artificial mais próximo do apresentado por uma pessoa comum, tornando o combate mais próximo do real, propiciando uma maior diversão para o jogador, objetivo este que sempre deveria ser o mais importante em qualquer jogo.

A hipótese testada, que consistia em não incluir personalidade e estado de espírito, foi bem recebida para este modelo de emoções durante os testes, já que os usuários em geral se mostrava satisfeitos com os resultados obtidos pelo personagem após os refinamentos da fase de *Beta-testing*.

4.3 Trabalhos Futuros

A primeira proposta de trabalho futuro consiste em implementar uma componente relacionada à personalidade do personagem e outra com relação ao estado de espírito. Por mais que estejamos satisfeitos com a não inclusão destas componentes, um estudo promissor consiste em desenvolver um sistema semelhantes, mas com estas componentes, e comparar as duas implementações.

Uma outra proposta consiste em ampliar a quantidade de emoções trabalhadas no sistema. Para um jogo eletrônico do tipo *FPS*, medo e confiança se mostram uma boa opção, mas ainda assim podemos ampliar a quantidade de emoções trabalhadas, de forma a apresentar mais realismo. A questão consiste também em encontrar quais outras emoções podem ser bem trabalhadas para este tipo de projeto, o que depende do tipo de jogo.

Por fim, um outro trabalho futuro proposto consiste em implementar um jogo eletrônico do tipo *FPS*, para testar a implementação realmente dentro do contexto do jogo eletrônico.

Referências Bibliográficas

- [Alvim 2008]ALVIM, L. G. a. M. *Uma máquina de estados nebulosa para um modelo de emoções aplicado a um personagem de um jogo eletrônico*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- [Bear, Connors e Paradiso 2007]BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. ISBN 978853631333-7.
- [Demasi 2003]DEMASI, P. *Estratégias adaptativas e evolutivas em tempo real para jogos eletrônicos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- [El-Nasr, Yen e Ioerger 2000]EL-NASR, M. S.; YEN, J.; IOERGER, T. R. Flame - fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Kluwer Academic Publishers, v. 3, p. 219–257, 2000. ISSN 1387-2532.
- [Goleman 1995]GOLEMAN, D. *Emotional Intelligence: Why It Can Matter More than IQ*. 1. ed. Nova Iorque, NY: Bantam, 1995. ISBN 9780553095036.
- [Lopes 2009]LOPES, R. O. Inteligência Computacional Aplicada a Jogos. In: *Anais da XXXI Jornada de Iniciação Científica, Artística e Cultural da UFRJ*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.
- [Lopes 2010]LOPES, R. O. Inteligência Computacional Aplicada a Jogos. In: *Anais da XXXII Jornada de Iniciação Científica, Artística e Cultural da UFRJ*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.
- [Miranda e Aldea 2005]MIRANDA, J. Martínez; ALDEA, A. Emotions in human and artificial intelligence. *Computers in Human Behavior*, v. 21, n. 2, p. 323 – 341, 2005. ISSN 0747-5632.
- [Ortony, Clore e Collins 1988]ORTONY, A.; CLORE, G. L.; COLLINS, A. *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. ISBN 0521353645.
- [Stallings 2004]STALLINGS, W. *Operating Systems: Internals and Design Principles*. 5. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 2004. ISBN 9780132479548.
- [Yen e Langari 1999]YEN, J.; LANGARI, R. *Fuzzy logic: intelligence, control, and information*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1999. ISBN 0-13-525817-0.
- [Zadeh 1965]ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information Control*, v. 8, p. 338–353, 1965.

ANEXO A – Questionário e resultados

O questionário abaixo foi criado com objetivo de gerar as regras do sistema nebuloso Emoções, e respondido por 62 pessoas. Apesar de ser mal-sucedido neste objetivo, conseguiu guiar a geração de regras determinando quais variáveis do cenário seriam mais relevantes. Para ajudar a compreensão de qual cenário estamos descrevendo, antes do início da descrição do mesmo, foi colocado a qual cenário esta descrição se refere. Para que eles respondessem corretamente, esta informação não foi passada aos entrevistados, sendo colocada apenas neste apêndice. Ao lado de cada alternativa, em parênteses, encontra-se a quantidade de pessoas que escolheu aquela opção, em valores porcentuais.

Nome Completo:

Você estuda?

- a) Sim, na UFRJ. (63% das respostas)
- b) Sim, em outra instituição de Ensino. (19% das respostas)
- c) Não. (18% das respostas)

Se estuda, qual seu curso?

- a) Ciência da Computação. (55% das respostas)
- b) Outro curso da área de Exatas. (13% das respostas)
- c) Outro curso na área de Humanas. (6% das respostas)
- d) Outro curso na área de Biomédicas. (5% das respostas)
- e) Outro curso, mas não se encaixa em nenhuma descrição acima. (5% das respostas)

Estamos em 2057. O Planeta Terra foi invadido por uma raça alienígena extremamente hostil, cujo objetivo é aniquilar a raça humana, feito que estão próximos de fazer. Você é um soldado da resistência humana, e durante suas batalhas contra os alienígenas, passa por cenários diferentes. Você está ciente que possui uma quantidade limitada de munição, e sua vida é

preciosa demais para desperdiçá-la em algum ato impensado. Saber que emoções passam por você em cada cenário é fundamental. Vamos analisar os cenários.

Cenário 1)

Ambiente - Hostil / Iluminação - Baixa / Som - Assustador

Você acaba de entrar no interior de um galpão abandonado, com muitas caixas e equipamentos largados. Ao observar o local, percebe que é um local extremamente hostil, com muitos pontos perfeitos para que inimigos se escondam e te ataquem quando você não perceber. É noite, e a iluminação é baixa, onde você não consegue distinguir objetos a uma distância razoável. É praticamente impossível conseguir detalhes de objetos sem a ajuda de uma lanterna. Você está constantemente ouvindo sons assustadores, muitos você não consegue discernir, outros você acredita serem de movimentação de inimigos.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (90% das respostas)
- b) Calma (2% das respostas)
- c) Confiança (8% das respostas)

Cenário 2)

Ambiente - Hostil / Iluminação - Alta / Som - Assustador

Você entrou em uma estação do metrô. Paredes derrubadas, trem fora da linha, corpos amontoados, uma grande desordem e caos. Um ambiente perfeito para que inimigos possam se posicionar contra você em uma batalha. Ao seu favor está o fato de que a iluminação é boa. Você consegue observar detalhes de objetos a uma certa distância. O ambiente apresenta um som estranho, assustador. Esse barulho que vem daquele canto é deveras estranho. Será que vale a pena ir lá investigar?

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (52% das respostas)
- b) Calma (29% das respostas)
- c) Confiança (19% das respostas)

Cenário 3)

Ambiente - Hostil / Iluminação - Baixa / Som - Amigável

Você caminha a noite em uma plantação de milho. Apesar de ser um ambiente aberto, devido à plantação você não consegue ver nada a mais que 2 metros de distância. O fato de ser a noite apenas piora a situação. A uma certa distância, há algumas torres, que você sabe que estão controladas por alienígenas, que talvez possam te perceber. A seu favor está o fato de que consegue ouvir sons de tropas e tanques aliados, apesar de não conseguir ver eles. Mas ao menos sabe que não está sozinho.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (45% das respostas)
- b) Calma (15% das respostas)
- c) Confiança (40% das respostas)

Cenário 4)

Ambiente - Hostil / Iluminação - Alta / Som - Amigável

Você está em um campo de batalha. O ambiente é altamente hostil, com muitas minas colocadas no chão, muitos inimigos atirando contra você e seus amigos. Mas a seu favor está o fato de que é meio dia e você está no alto de um morro. Sons de tanques e tiros de canhão saindo do seu lado podem ser ouvidos, enquanto sons hostis a você quase não são percebidos.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (24% das respostas)
- b) Calma (27% das respostas)
- c) Confiança (48% das respostas)

Cenário 5)

Ambiente - Amigável / Iluminação - Baixa / Som - Assustador

Você está no acampamento de suas tropas. Como já está neste acampamento a tempos, já está familiarizado com todas as nuances do ambiente. Mas nesta noite sem lua todas as luzes estão apagadas, e pouco se enxerga além de alguns metros de distância. Além disso, sons muito estranhos ecoam pelo acampamento, indicando uma possibilidade de presença de algo assustador bem próximo de você.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (61% das respostas)

b) Calma (29% das respostas)

c) Confiança (10% das respostas)

Cenário 6)

Ambiente - Amigável / Iluminação - Alta / Som - Assustador

Você está em uma igreja. O ambiente te inspira paz e calma, sendo totalmente amigável a você. Os longos vitrais da igreja deixam passar toda a iluminação de uma tarde de verão, de forma que você consegue enxergar com clareza e nitidez toda a igreja. Mas algo está estranho, pois barulhos muito estranhos ocorrem na igreja, perto da sacristia. E você tem que ir para lá.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

a) Medo (44% das respostas)

b) Calma (35% das respostas)

c) Confiança (21% das respostas)

Cenário 7)

Ambiente - Amigável / Iluminação - Baixa / Som - Amigável

Você caminha em uma praia deserta. Apesar de deserta, percebe-se que o mar está calmo e o ambiente bem tranquilo. Estamos de noite e, apesar do luar, não é possível enxergar direito objetos muito distantes. Ao longe, no caminho que passará, escuta-se o barulho de pessoas conversando animadamente e uma música tocando. Provavelmente uma festa.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

a) Medo (5% das respostas)

b) Calma (53% das respostas)

c) Confiança (42% das respostas)

Cenário 8)

Ambiente - Amigável / Iluminação - Alta / Som - Amigável

Você se encontra em uma praia. É uma tarde de verão que ilumina tudo a quilômetros de distância. O fato da praia ser plano e sem presença de pedras torna o ambiente difícil para que um inimigo se esconda, e o sol facilita que se perceba a presença de qualquer objeto. Sons ao fundo te fazem ter a impressão de que há mais gente, mas você consegue reconhecer a voz de amigos.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (0% das respostas)
- b) Calma (53% das respostas)
- c) Confiança (47% das respostas)

Cenário 9)

Ambiente - Hostil / Iluminação - Baixa / Som - Normal

Você acaba de entrar no interior de um galpão abandonado, com muitas caixas e equipamentos largados. Ao observar o local, percebe que é um local extremamente hostil, com muitos pontos perfeitos para que inimigos se escondam e te ataquem quando você não perceber. É noite, e a iluminação é baixa, onde você não consegue distinguir objetos a uma distância razoável. É praticamente impossível conseguir detalhes de objetos sem a ajuda de uma lanterna. Apesar disso, os sons ouvidos são normais. Ouve alguns sons que podem tanto te transmitir calma, como serem assustadores.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (65% das respostas)
- b) Calma (16% das respostas)
- c) Confiança (19% das respostas)

Cenário 10)

Ambiente - Hostil / Iluminação - Alta / Som - Normal

Você entrou em uma estação do metrô. Paredes derrubadas, trem fora da linha, corpos amontoados, uma grande desordem e caos. Um ambiente perfeito para que inimigos possam se posicionar contra você em uma batalha. Ao seu favor está o fato de que a iluminação é boa. Você consegue observar detalhes de objetos a uma certa distância. Não há nada de estranho no som ambiente. Quando ouve algo, não é algo que seja assustador, ou amigável.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (21% das respostas)
- b) Calma (58% das respostas)
- c) Confiança (21% das respostas)

Cenário 11)

Ambiente - Amigável / Iluminação - Baixa / Som - Normal

Você está no acampamento de suas tropas. Como já está neste acampamento a tempos, já está familiarizado com todas as nuances do ambiente. Mas nesta noite sem lua todas as luzes estão apagadas, e pouco se enxerga além de alguns metros de distância. Ao tentar prestar atenção no som ambiente, não percebe nada de assustador ou algum som familiar.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (3% das respostas)
- b) Calma (71% das respostas)
- c) Confiança (26% das respostas)

Cenário 12)*Ambiente - Amigável / Iluminação - Alta / Som - Normal*

Você se encontra em uma praia. É uma tarde de verão que ilumina tudo a quilômetros de distância. O fato da praia ser plana e sem presença de pedras torna o ambiente difícil para que um inimigo se esconda, e o sol facilita que se perceba a presença de qualquer objeto. Consegue captar poucos, sons. A maioria consiste em cantos de gaivotas e o marulhar das ondas. Algo longe de assustador, mas também não é totalmente amigável.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (2% das respostas)
- b) Calma (82% das respostas)
- c) Confiança (16% das respostas)

Cenário 13)*Ambiente - Normal / Iluminação - Normal / Som - Normal*

Você se encontra em um campo aberto. Sabe que existe a possibilidade de inimigos aparecerem em algum ponto e te atacarem, mas não há muitos pontos em que possam estar escondidos te emboscando. Mas também não há como conseguir ajuda. A iluminação é a de um final de tarde: está iluminado, mas não tão claramente quanto um dia de verão com sol a pino, mas também não pode se queixar de que está escuro. Não há muitos sons ambientes, e o que escuta não é assustador, apesar de não reconhecer nenhum som amigável.

Pergunta: *Qual seria provavelmente a emoção que você mais estaria sentindo no momento?*

- a) Medo (29% das respostas)
- b) Calma (50% das respostas)
- c) Confiança (21% das respostas)