



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Informática

Pós-Graduação em Ciência da Computação

Simulação de Sistemas Complexos para Fins de Entretenimento  
Usando Redes Bayesianas: O Caso do FutSim

por

Jeferson Luiz Freitas Valadares

**Dissertação de Mestrado**

Recife, Fevereiro de 2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA

JEFERSON LUIZ FREITAS VALADARES

**Simulação de Sistemas Complexos para Fins de Entretenimento  
Usando Redes Bayesianas: O Caso do FutSim**

*Este trabalho foi submetido à Pós-Graduação em Ciência da  
Computação do Centro de Informática da Universidade  
Federal de Pernambuco como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação*

Orientador: Prof. Dr. Geber Lisboa Ramalho

Recife, 28 de Julho de 2002

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é resolver o problema de Inteligência Artificial do FutSim, um jogo online de administração de futebol desenvolvido pela empresa Jynx Playware. Os jogos de computador são relevantes hoje não apenas pela sua expressão de mercado, mas também para propósitos de pesquisa. O futebol é um excelente exemplo de sistema complexo, porque o seu entendimento não é possível a partir do entendimento de seus componentes. Hoje em dia são utilizadas simulações em software para se entender e experimentar com este tipo de sistema. Existem muitas discussões sobre a simulação de sistemas complexos para outros fins, mas não para entretenimento. Este tipo de simulação de sistemas complexos tem vários requisitos específicos que não são atendidos pelos sistemas de simulação atuais. Além disso, a maioria das simulações desenvolvidas hoje pela indústria de jogos é baseada em técnicas como regras de produção e lógica difusa, que não são adequadas para o tratamento de incerteza. Já a abordagem de redes bayesianas é capaz de lidar com incerteza de maneira correta e eficiente, mas elas não têm sido utilizadas para simulação, e nem são capazes de representar conceitos como entidade e relacionamento. Como resultado deste trabalho, nós resolvemos o problema de simulação do FutSim através da complementação do formalismo de redes bayesianas com os conceitos de entidades e eventos, e propomos uma metodologia geral para desenvolver simulações de sistemas complexos para fins de entretenimento.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to meet the Artificial Intelligence requirements of FutSim, an online soccer management game developed by Jynx Playware. Computer games are relevant today not only because of their economical importance, but also for research purposes. Soccer is an excellent example of a Complex System, since its understanding is not possible through the analysis of its individual components. Today, software simulation is a popular method for the analysis and experimentation with this kind of system. The simulation of complex systems for its many purposes has been discussed, except for one specific purpose: entertainment. This specific kind of simulation has several specific requirements not met by regular simulation systems. Moreover, most of the computer games developed today are based on production rules and fuzzy logic, which are not adequate for dealing with uncertainty. The Bayesian networks approach can treat uncertainty correctly and efficiently, but these networks are not usually applied to simulation, and they also are not able to represent the concepts of entity and relationship. As a result of this work, we solved the simulation problem of FutSim through the complementation of the Bayesian networks formalism with the concepts of entities and events, and we also propose a methodology to develop complex system simulations for entertainment purposes.

# AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ter sido feito sem a ajuda de muitas pessoas. Com certeza estou esquecendo alguém; já peço desculpas adiantadamente.

À Doug Church e Steve Woodcock, pelas diversas discussões e comentários sobre este trabalho e pelo esforço que eles têm feito em prol da IA na comunidade de jogos.

A todos que me ajudaram a entender o incompreensível e apaixonante mundo do futebol: ao Sr. Adelson Wanderley, que pacientemente cedeu o seu precioso tempo para responder a todas as nossas perguntas; aos professores Chris Hope, JA Goddard e Stephen Dobson pelas inúmeras referências, discussões e trabalhos que me foram bastante úteis.

Ao pessoal da UnB: ao professor Marcelo Ladeira, que me proporcionou incansáveis conversas, dicas e referências sobre redes bayesianas, e que no fim, ainda gentilmente nos cedeu o UnBBayes para utilização neste projeto. Agradecimentos especiais a Michael Onishi e Rommel Carvalho, orientandos do professor Ladeira, que estiveram sempre disponíveis para dúvidas sobre os detalhes de implementação e utilização da API.

Ao pessoal da Jynx, que pacientemente cobriu a minha ausência e me agüentou durante o tempo em que este trabalho foi desenvolvido. Aos meus sócios, por terem me liberado para desenvolver este trabalho. Agradecimentos especiais são devidos a Reginaldo Valadares, Scylla Costa, Tiago Rocha e a Yellow, pela ajuda na apresentação deste trabalho, e a Jorge Leal e a Rodrigo Pedrosa, que me acompanharam ao mundo maravilhoso das APIs bayesianas.

Ao pessoal do CIn-UFPE; que há muitos anos vem sendo como uma família pra mim. Recomendo este lugar descontraído e criativo, mas sempre profissional, para qualquer um interessado em desenvolver um trabalho de qualidade. À professora Teresa Ludermir, minha orientadora de Iniciação Científica, que me iniciou na área de pesquisa. Aos professores Flávia Barros, Jacques Robin e Sérgio Cavalcante, companheiros e sempre dispostos a aconselhar. E por último, mas não por menos, ao meu orientador, o professor Geber Ramalho, que, como um pai, me ensinou pela segunda vez a ler e a escrever.

Aos meus pais e a minha irmã, que ora concordando e ora discordando, sempre apoiaram incondicionalmente as minhas ações. E finalmente, à minha eterna namorada Nani, razão pela qual eu acordo todo dia.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	2
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	ABORDAGEM	4
1.4	ESTRUTURA	6
<b>2</b>	<b>O PROBLEMA</b>	<b>7</b>
2.1	OS SISTEMAS COMPLEXOS	7
2.2	A SIMULAÇÃO DE SISTEMAS COMPLEXOS PARA ENTRETENIMENTO	10
2.3	O FUTEBOL	14
2.3.1	<i>Os Jogos de Administração de Futebol</i>	16
2.3.2	<i>O Domínio de Administração de Futebol</i>	20
2.4	O FUTSIM	21
2.5	CONCLUSÕES	24
<b>3</b>	<b>CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E CRIAÇÃO DE MODELOS</b>	<b>26</b>
3.1	DEFINIÇÃO DE PADRÕES	26
3.2	CRIAÇÃO DO MODELO	28
3.2.1	<i>Aquisição de Conhecimento</i>	29
3.2.2	<i>Representação de Conhecimento</i>	30
3.2.2.1	Abordagens para Tratamento de Incerteza	30
3.2.2.2	Redes Bayesianas	32
3.3	CONCLUSÕES	36
<b>4</b>	<b>A NOSSA ABORDAGEM</b>	<b>38</b>
4.1	PADRÕES E AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	38
4.2	CONCEITOS BÁSICOS E VISÃO GERAL	40
4.3	ENTIDADES	45
4.3.1	<i>Mundo</i>	46
4.3.2	<i>Rankings</i>	47
4.3.3	<i>Negociações</i>	48
4.3.4	<i>Clube</i>	48
4.3.5	<i>Jogador</i>	49
4.4	EVENTOS	51
4.4.1	<i>Eventos de Usuário</i>	54

4.4.2	<i>Eventos Programados</i> .....	54
4.4.3	<i>Eventos Propagados</i> .....	56
4.5	TRABALHOS RELACIONADOS.....	56
4.6	CONCLUSÕES.....	57
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
5.1	CONSTRUÇÃO DO SIMULADOR.....	59
5.1.1	<i>O FutSim</i> .....	59
5.1.2	<i>A Integração da Ferramenta Bayesiana</i> .....	65
5.2	TESTES COM USUÁRIOS REAIS E AJUSTES DE PARÂMETROS.....	69
5.2.1	<i>Primeira Fase de Testes</i> .....	71
5.2.2	<i>Segunda Fase de Testes</i> .....	74
5.3	CONCLUSÕES.....	75
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>77</b>
6.1	CONTRIBUIÇÕES .....	78
6.2	TRABALHOS FUTUROS.....	78
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>81</b>
<b>ANEXO A -</b>	<b>QUESTIONÁRIO RESPONDIDO PELO ESPECIALISTA</b> .....	<b>90</b>
<b>ANEXO B -</b>	<b>QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA UTILIZADO</b> .....	<b>101</b>
<b>ANEXO C -</b>	<b>RESULTADOS DA PRIMEIRA FASE DE TESTES</b> .....	<b>104</b>
<b>ANEXO D -</b>	<b>RESULTADOS DA SEGUNDA FASE DE TESTES</b> .....	<b>107</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 – COMPORTAMENTO DE MERCADOS FINANCEIROS .....	8
FIGURA 2-2 – <i>THE SIMS</i> .....	13
FIGURA 2-3 – <i>ROBOCUP</i> .....	15
FIGURA 2-4 – <i>FIFA SOCCER</i> .....	16
FIGURA 2-5 – <i>CHAMPIONSHIP MANAGER</i> .....	17
FIGURA 2-6 – <i>FIFA SOCCER MANAGER</i> .....	18
FIGURA 2-7 – <i>ULTIMATE SOCCER MANAGER 98</i> .....	19
FIGURA 2-8 – <i>Y-SOCCERSIM</i> .....	20
FIGURA 2-9 – <i>FUTSIM</i> .....	22
FIGURA 3-1 – PERSONAGEM DE DESENHO ANIMADO .....	28
FIGURA 3-2 – REDE BAYESIANA DE EXEMPLO .....	34
FIGURA 3-3 – ASSISTENTE DO <i>OFFICE</i> .....	36
FIGURA 4-1 – ENTIDADES DE EXEMPLO.....	41
FIGURA 4-2 – REDE <i>REACAOSESSAOTREINAMENTO</i> .....	43
FIGURA 4-3 – REDE <i>REACAOSESSAOTREINAMENTO</i> COM PROBABILIDADES .....	43
FIGURA 4-4 – AGENTES REATIVOS .....	45
FIGURA 4-5 – PRINCIPAIS ENTIDADES DO <i>FUTSIM</i> .....	46
FIGURA 4-6 – INTERAÇÃO DOS EVENTOS COM AS ENTIDADES .....	52
FIGURA 4-7 – FUNCIONAMENTO DOS EVENTOS DO <i>FUTSIM</i> .....	52
FIGURA 4-8 – REDES DA PARTIDA .....	55
FIGURA 4-9 – ENTIDADE PROPOSTA DE CONTRATO.....	56
FIGURA 5-1 – INFRA-ESTRUTURA DE SOFTWARE DO <i>FUTSIM</i> .....	60
FIGURA 5-2 – CAMADAS DA ARQUITETURA DO <i>FUTSIM</i> .....	60
FIGURA 5-3 – ENTIDADES DO <i>FUTSIM</i> .....	62
FIGURA 5-4 – EVENTOS DO <i>FUTSIM</i> .....	63
FIGURA 5-5 – DIAGRAMA DE SEQÜÊNCIAS DO EVENTO <i>EFETUAR TREINAMENTO</i> .....	64
FIGURA 5-6 – CLASSES DE EVENTOS E ENTIDADES DO <i>FUTSIM</i> .....	64
FIGURA 5-7 – EVOLUÇÃO DO TEMPO NECESSÁRIO PARA A SIMULAÇÃO DE UMA PARTIDA .....	67
FIGURA 5-8 – INTEGRAÇÃO DO <i>FUTSIM</i> COM A API <i>UNBBAYES</i> .....	67
FIGURA 5-9 – MUDANÇAS NA ARQUITETURA DAS REDES.....	68
FIGURA 5-10 – EVOLUÇÃO NO TEMPO DE MODELAGEM DAS REDES .....	69

# ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2-1 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE DIVERSOS JOGOS DE ADMINISTRAÇÃO DE FUTEBOL .....	20
TABELA 2-2 – AÇÕES DISPONÍVEIS PARA O USUÁRIO .....	23
TABELA 3-1 – CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE UM EVENTO .....	34
TABELA 3-2 – CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE JOÃO LIGAR .....	35
TABELA 4-1 – EFEITO NO ATRIBUTO DO JOGADOR .....	44
TABELA 4-2 – EVENTOS DO FUTSIM .....	53
TABELA 5-1 – CÓDIGO DO MÉTODO <i>REACAOSESSAOTREINAMENTO</i> .....	68
TABELA 5-2 – RESULTADOS DA PRIMEIRA FASE DE TESTES .....	73
TABELA 5-3 – RESULTADOS DA SEGUNDA FASE DE TESTES .....	74

# 1 INTRODUÇÃO

Os jogos eletrônicos de administração (*management games*) são atualmente produtos de sucesso tanto para fins de treinamento e educação quanto para entretenimento. Neste tipo de jogo, o jogador é responsável pela administração de recursos a fim de atingir algum objetivo; é possível se gerenciar pessoas, recursos, instituições, etc. Seguindo este raciocínio, os jogos de administração de futebol são aqueles nos quais o usuário tem que coordenar e gerir um clube de futebol. Esse mercado, apesar de ser um nicho específico, é bastante popular, especialmente na Europa. O seu representante de maior sucesso atual é a série *Championship Manager* (Sports Interactive, 2002), que detém o recorde de maior número de cópias vendidas no lançamento (um final de semana) de um jogo na Inglaterra – mais de 100.000 cópias (Sports Interactive, 2001).

A indústria de administração de futebol em si movimenta cerca de um bilhão de libras esterlinas por ano (Deloitte & Touche, 2000), mas apenas recentemente começou a receber a atenção da comunidade acadêmica. Historicamente, a maioria dos trabalhos desenvolvidos sobre o futebol eram estudos quantitativos sobre a forma física e a habilidade dos jogadores. Entretanto, principalmente nos últimos dois anos, diversos trabalhos foram publicados na área de administração sobre assuntos específicos de futebol, tais como estudos sobre o impacto da troca do técnico no desempenho do clube (Audas et al, 2002).

Um jogo de administração de futebol pode ser visto como um grande sistema complexo (Casti, 1997). Este tipo de sistema é caracterizado por uma incapacidade do entendimento de seu funcionamento através unicamente da análise do comportamento de seus componentes individuais. Este é o caso de diversos fenômenos naturais e sociais, como por exemplo, os fenômenos climatológicos. Estes sistemas, apesar de serem interessantes objetos de estudo, geralmente são difíceis de serem observados, estudados e manipulados detalhadamente. Por esta razão, existe atualmente uma tendência em *simular* estes sistemas em software, com o objetivo de se fazer experimentos, observar o comportamento destes, e conseqüentemente atingir uma compreensão maior sobre o seu funcionamento.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação inicial deste trabalho foi a de suprir a necessidade de Inteligência Artificial do FutSim (2002), um jogo on-line de administração de futebol desenvolvido pela Jynx Playware (2002), uma empresa de entretenimento digital baseada em Recife da qual eu faço parte. No FutSim, os usuários tomam os papéis de técnicos, gerentes e espectadores enquanto os jogadores, juízes, assistentes, olheiros e torcida são simulados. O fato de este jogo ser baseado em um esporte real elimina a necessidade da criação de alguns detalhes, tais como a forma do desenrolar de uma partida ou um campeonato – existem regulamentos oficiais que devem ser usados como referência.

Como este é um jogo de administração, os jogadores têm controle sobre aspectos gerenciais de um clube, tais como compra e venda de jogadores e treinadores, venda de patrocínio e direitos de transmissão para rádio e TV, finanças, manutenção do estádio e da sede social, entre outros. Entretanto, além do controle sobre estes aspectos, os jogadores também serão técnicos: deverão criar táticas, escalar times, multar jogadores boêmios (ou não!), treinar e manter o condicionamento físico de seus atletas.

Por ser um jogo on-line, ele naturalmente incentiva a competição entre os jogadores. Além da disputa usual por títulos, a disputa por jogadores, treinadores e outros recursos individuais também é uma parte integral do jogo. Os usuários também poderão ser espectadores, tendo acesso às partidas que não estiverem jogando através de recursos audiovisuais (página do jogo, etc).

Este jogo é uma instância do gênero conhecido como *Jogos de Administração de Futebol*. O trabalho de Inteligência Artificial neste jogo compreende desde a escolha e implementação do modelo do ambiente de administração de futebol a ser simulado, até a determinação e criação dos mecanismos necessários para implementar efetivamente esta simulação.

Na medida em que este trabalho foi sendo desenvolvido, foram identificadas por nós duas grandes lacunas. A primeira delas é que, apesar de toda a sua popularidade com o público, foi identificada uma falta de informação disponível na literatura sobre como os jogos de administração de futebol são desenvolvidos. Como efetivamente existem jogos desenvolvidos sobre o tema no mercado, esta informação não deve estar sendo disponibilizada por razões de segredo industrial. A outra está no estudo da simulação de

sistemas complexos para fins de entretenimento. Existem muitos trabalhos desenvolvidos sobre simulação de sistemas complexos para outros fins, mas não para este em especial.

Isto não é surpreendente, já que apenas recentemente a área de entretenimento começou a sair das salas de estar para entrar nos laboratórios da ciência da computação, apesar do vasto potencial de interação destas áreas, principalmente no campo da Inteligência Artificial (Amant & Young, 2001). Além deste potencial, o próprio *mercado* para este tipo de entretenimento também não pode ser ignorado. No ano de 2001 o entretenimento eletrônico nos Estados Unidos teve um faturamento maior do que o das bilheterias de cinema (Cochrane, 2002), e em 2002 o valor deste mercado está estimado em mais de 31 bilhões de dólares (Gamasutra, 2002). Como exemplo da popularidade deste tipo de entretenimento, *The Sims* (EA, 2002a), uma série de jogos de simulação que envolve os aspectos da vida diária, já vendeu mais de 14 milhões de cópias desde o seu lançamento em novembro de 1999 (Au, 2002).

Entretanto, para disputar tais recompensas é necessário um grande investimento. Os ambientes virtuais estão cada vez mais se aproximando da realidade; conseqüentemente, a expectativa sobre cada nova geração de produtos fica cada vez maior. Os requisitos mínimos para a qualidade visual de um jogo atualmente são enormes, e cada vez mais, uma maior qualidade da simulação também está sendo exigida. Muitas pessoas inclusive acreditam que o entretenimento eletrônico é o maior impulsionador do desenvolvimento da computação pessoal (Epstein, 1998).

Levando em consideração todas estas dificuldades, mais as pressões mercadológicas para lançar o jogo em uma certa data e a falta de cultura de uso de formalismos como engenharia de software, é compreensível o fato de que estes jogos ainda sejam freqüentemente feitos com pouco entendimento das decisões tomadas durante o seu desenvolvimento (Rollings & Morris, 2000).

## 1.2 OBJETIVOS

Neste contexto, o objetivo do nosso trabalho, então, é duplo:

- ***Resolver o problema de simulação do FutSim;***
- ***Criar uma formalização para o processo de desenvolvimento de simulações de entretenimento em geral.***

De fato, o problema de simulação do FutSim envolve principalmente a parte de criação do modelo e de um motor de Inteligência Artificial que irá fazer este modelo evoluir. Com a experiência obtida, esperamos abstrair uma metodologia genérica que pode ser utilizada para proporcionar uma maior formalização do processo de desenvolvimento de simulações de sistemas complexos para fins de entretenimento, e com isto ajudar a garantir a correte e a transparência das mesmas.

### 1.3 ABORDAGEM

Este trabalho começou com uma reflexão sobre os tipos de problema apresentados por uma simulação como o FutSim. Em seguida, foi proposta por nós uma forma de se atacar o problema de simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento. Com isto em mente, dividimos o problema em cinco sub tarefas: *definição dos padrões de avaliação, criação do modelo, construção do simulador, teste com usuários reais e ajustes de parâmetros*.

De acordo com os nossos objetivos, demos especial atenção à tarefa de *construção do modelo*. Sistemas complexos têm sido comumente modelados através de abordagens matemáticas, como a teoria do caos. Entretanto, este tipo de abordagem não possibilita o uso de conhecimento do domínio. A fim de aproveitar o extenso conhecimento disponível sobre administração de futebol, decidimos utilizar uma abordagem baseada em conhecimento.

Entre as abordagens baseadas em conhecimento estão: a abordagem *simbólica*, que trabalha com manipulação simbólica e inferência lógica, sendo exemplo os sistemas de produção; a abordagem *difusa*, proposta por Zadeh (1965) para permitir inferência sobre dados difusos; a abordagem das *evidências* (Shafer, 1976), proposta por Dempster e Shafer, que utiliza o enfoque de intervalo para representar uma medida de incerteza; e finalmente a abordagem *probabilística*, cujo maior representante são as redes bayesianas propostas por Judea Pearl (1986).

As três primeiras, embora tenham sido utilizadas de uma forma ou outra para abordar este problema, não têm uma semântica clara estabelecida. O formalismo de *Redes bayesianas* (Jensen, 2001) aparece então como uma solução tanto para o problema de modelagem do domínio quanto para o de simulação, pois elas não apenas são uma forma de

se expressar conhecimento de maneira simples e clara, mas também provêm mecanismos corretos de raciocínio sobre este conhecimento em domínios que apresentam incerteza.

Entretanto, apesar de sua capacidade para tratar com incerteza, as redes bayesianas apresentam dois grandes problemas para os nossos propósitos. Primeiramente, elas têm sido utilizadas primariamente para raciocínio, e não para simulação e mudanças dependentes de eventos. E segundo, elas não são capazes sozinhas de expressar conceitos de entidade e relacionamento.

Para resolver estas limitações, propomos o uso destas redes acopladas a *objetos*, que são capazes de armazenar conceitos de entidade e relacionamento, para complementar as redes. Neste caso, as redes ficam então responsáveis por descrever, de acordo com os acontecimentos, como e com qual a probabilidade estes eventos irão afetar as entidades envolvidas.

Compomos o FutSim basicamente por duas estruturas: as *entidades* e os *eventos*. As entidades representam todos as estruturas relevantes para o modelo, desde os personagens (como os jogadores) até as estruturas físicas (como os estádios). Elas são implementadas através de objetos com atributos. Já os eventos são os acontecimentos através dos quais o tempo passa no sistema.

Os eventos podem ser de três tipos: *usuário*, *programados* e *propagados*. Os eventos de usuário são uma abstração das ações do usuário através da interface do jogo, como uma oferta de contrato para um jogador. Os eventos programados fazem as tarefas que precisam acontecer regularmente, como o pagamento de salários aos jogadores. Eles têm uma data marcada para ocorrer. Já os eventos propagados são causados pela alteração no estado de alguma entidade.

Os eventos que tem conseqüências determinísticas são modelados através de regras. Por exemplo, a demissão de um jogador sempre gera o cancelamento e posterior remoção de seu contrato do sistema. Porém, para modelar o efeito dos eventos incertos, como o efeito na satisfação jogador devido ao cancelamento de seu contrato, são utilizadas redes bayesianas. Isto é feito através da utilização de redes genéricas que são instanciadas com os valores desejados, e descartadas a cada uso.

Este é um uso novo de redes bayesianas, que têm sido utilizadas geralmente para modelar uma instância de uma situação específica (como o funcionamento de um alarme

específico), e não entidades genéricas (como o funcionamento de qualquer alarme). Através deste acoplamento das redes com objetos, nós estendemos o conceito das primeiras para permitir a utilização das mesmas para a simulação de eventos incertos.

Esta abordagem foi utilizada com resultados satisfatórios no desenvolvimento do FutSim. A simulação foi avaliada através de formulários de análise qualitativa que foram respondidos por grupos de usuários que participaram de duas sessões de teste com versões iniciais do jogo.

A principal contribuição deste trabalho é então a apresentação de uma forma inovadora de se utilizar redes bayesianas para se fazer uma modelagem baseada em eventos de um sistema que apresente incerteza. E é claro, como um outro resultado deste trabalho, temos o próprio FutSim, que foi implementado durante este período.

#### ***1.4 ESTRUTURA***

Na próxima seção as características do problema de simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento são detalhadas. Na Seção 3 apresentamos as técnicas que podem ser utilizadas para resolver as duas primeiras tarefas a serem desempenhadas: definição dos padrões de avaliação e criação do modelo. A nossa abordagem para estas duas questões e a apresentação de alguns trabalhos relacionados é descrita na Seção 4. A Seção 5 discute o estado da arte e as nossas decisões para as últimas três tarefas (construção do simulador, teste com usuários reais e ajustes de parâmetros), além de detalhar a implementação e os resultados obtidos pela nossa abordagem. Finalmente, as conclusões e contribuições deste trabalho, assim como uma discussão sobre possíveis trabalhos futuros, estão na Seção 6.

## 2 O PROBLEMA

O objetivo deste capítulo é levantar as dificuldades enfrentadas na construção do núcleo inteligente do FutSim. Inicialmente é feita uma discussão sobre sistemas complexos, que é acompanhada por uma sobre características de uma simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento. A seguir os jogos de administração de futebol também são caracterizados, e por fim é feita uma descrição específica do jogo que estamos implementando.

### 2.1 OS SISTEMAS COMPLEXOS

Um Sistema Complexo pode ser definido formalmente através da seguinte óctupla (Stilman, 1994):

$$\langle X, P, R_P, \{ON\}, v, S_i, S_t, TR \rangle$$

onde  $X=X_j$  é um conjunto finito de *pontos*;  $P=\{P_i\}$  é um conjunto finito de *elementos*;  $P$  é uma união de dois subconjuntos disjuntos  $P_1$  e  $P_2$ ;  $R_P(x, y)$  é um conjunto de relações binárias de *alcançabilidade* em  $X$  ( $x$  e  $y$  pertencem a  $X$ ,  $p$  a  $P$ );  $ON(p)=x$ , onde  $ON$  é uma função parcial de *colocação* de  $P$  em  $X$ ;  $v$  é uma função em  $P$  com valores inteiros positivos; descreve os *valores* dos elementos. O Sistema Complexo busca o espaço de estados, que deve ter estados iniciais e alvo.  $S_i$  e  $S_t$  são as descrições dos estados iniciais e alvo da linguagem do cálculo de predicados de primeira ordem, que casa cada relação com uma fórmula bem formada (FBF). Portanto, cada estado de  $S_i$  e  $S_t$  é descrito por um certo conjunto de FBFs da forma  $\{ON(p_j)=x_k\}$ ;  $TR$  é um conjunto de operadores,  $TRANSIÇÃO(p, x, y)$ , de transição do Sistema de um estado para outro. Estes operadores descrevem a transição em termos de duas listas de FBF (a serem removidas e adicionadas à descrição do estado), e da FBF de aplicabilidade da transição. Aqui,

**Lista de remoção:**  $ON(p)=x, ON(q)=y$ ;

**Lista de adição:**  $ON(p)=y$ ;

**Lista de aplicabilidade:**  $(ON(p)=x) \wedge R_P(x, y)$ , onde  $p$  pertence a  $P_1$  e  $q$  pertence a  $P_2$  e vice versa. As transições são executadas em turno com participação de elementos  $p$  de  $P_1$  e  $P_2$  respectivamente; a omissão de um turno é permitida.

Mas os sistemas complexos também podem ser definidos intuitivamente como aqueles que não pode ser entendido através de uma simples análise de seus componentes (Noda & Frank, 1998). Esta complexidade pode se apresentar de diversas maneiras, tais como o grande número de variáveis envolvidas ou a incapacidade prática ou teórica de se determinar todas as regras do sistema. O estudo e a simulação desses sistemas são muito relevantes, uma vez que diversos fenômenos naturais, sociais e artificiais podem ser vistos como sistemas complexos. Como exemplo desses fenômenos podemos citar a formação de sistemas planetários, o comportamento de mercados financeiros (ilustrado na Figura 2-1) e padrões de flutuação de trânsito automobilístico.

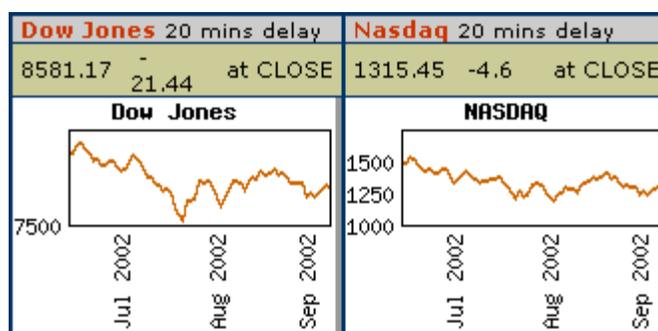


Figura 2-1 – Comportamento de Mercados Financeiros

Apesar desta relevância, a observação, análise e experimentação com estes sistemas não são freqüentes, principalmente porque estas são tarefas muito desafiadoras. Eles podem estar fora do nosso alcance de observação, serem tão cruciais para a vida diária a ponto da manipulação deles para fins de avaliação estar fora de questão, ou simplesmente serem perigosos demais para permitir uma experimentação direta. Além disso, os sistemas complexos exibem algumas características próprias que complicam o seu entendimento (Casti, 1997): *paradoxos aparentes*, *instabilidade*, *não-computabilidade*, *conectividade* e *emergência*.

Os *paradoxos aparentes* geralmente vêm de falsas suposições sobre o funcionamento do sistema, que geram inconsistências entre o comportamento observado e as expectativas sobre este mesmo comportamento. Um exemplo desta característica é o comportamento de bolsas de valores, que podem ter comportamentos completamente opostos aos previstos.

A *instabilidade* destes sistemas vem do fato de que eles costumam apresentar grandes variações a partir de pequenos e aparentemente inofensivos eventos. Um exemplo

clássico desta situação é o caso da disputa entre os formatos de vídeo VHS e Betamax. Os dois surgiram praticamente ao mesmo tempo, e com quase as mesmas fatias de mercado. Entretanto, em pouco tempo o formato VHS, mesmo inferior tecnicamente, dominou completamente o mercado. Não houve nenhum acontecimento julgado grande o suficiente na época para justificar este desenrolar da situação.

Embora exista uma suposição de que existam regras por baixo destes sistemas, existe a possibilidade deles serem efetivamente *não-computáveis*, ou seja, intratáveis, requerendo uma quantidade de recursos quase que infinita para a sua solução.

A *conectividade* vem do fato deste tipo de sistema apresentar uma grande interação entre as suas variáveis, impedindo assim que se faça uma decomposição adequada de seu comportamento. Um caso que ilustra este tipo de interação complexa é a interação gravitacional entre sistemas planetários. Todos os corpos celestes afetam uns aos outros, fazendo a tarefa de entendimento completo de seu comportamento de forma isolada quase impossível.

Estes sistemas apresentam também um comportamento *emergente*, ou seja, que não pode ser determinado a partir de seus componentes individuais. Neles é comum a exibição de um comportamento geral do sistema muito mais complexo do que os de seus componentes individuais. Isto acontece nas colônias de formigas, onde, unidas, elas apresentam um comportamento altamente complexo que nenhuma formiga individual é capaz de exibir.

Muitos estudiosos da área de sistemas complexos têm defendido o uso de simulação em software como a ferramenta ideal para entender estes sistemas, como John Casti (1997). Os argumentos para tal são diversos: entre eles estão a disponibilidade de recursos computacionais cada vez mais rápidos e baratos permitindo uma grande quantidade de simulações complexas, e a segurança de se poder experimentar livremente sem riscos e conseqüências reais. Entretanto, para se criar estes modelos, existem duas grandes limitações computacionais: o grande número de variáveis e o alto grau de incerteza associado às ações.

Este processo de *descoberta* através de simulação em software geralmente é feito através da criação de um modelo para o sistema a ser estudado e da implementação e posterior simulação deste modelo por um número arbitrário de vezes. Estas saídas da

simulação são estudadas, e ajustes são feitos no modelo se necessário. Um exemplo destes sistemas é o TRANSIMS (Rasmussen & Barrett, 1995), utilizado para se entender como os padrões de trânsito evoluem.

Além de descoberta, a simulação de sistemas complexos pode ser colocada para outros usos (Gilbert & Troitzsch, 1999):

- **Predição:** se a simulação é suficientemente precisa, ela pode ser executada por determinados períodos de tempo e utilizada como oráculo;
- **Substituição de Especialistas:** diversos sistemas que simulam o conhecimento de profissionais das mais diversas áreas têm sido construídos para fazer diagnoses que, de outra forma, só seriam possíveis com a presença de especialistas humanos;
- **Formalização:** a simulação pode ser usada para verificar se a teoria utilizada para a sua programação foi precisamente definida e para garantir que ela está completa e coerente;
- **Treinamento:** qualquer simulação pode ser utilizada para ensinar os conceitos nos quais ela está baseada;
- **Entretenimento:** muitos jogos no mercado podem ser encarados como simulações feitas com o objetivo de divertir.

## 2.2 A SIMULAÇÃO DE SISTEMAS COMPLEXOS PARA ENTRETENIMENTO

Existem muitas pesquisas sobre os vários usos de simulação de sistemas complexos citados na seção anterior (Axelrod, 1997) (Rasmussen & Barrett, 1995), mas não sobre as simulações para entretenimento. Embora a área de entretenimento apresente um dos mais ricos campos de teste para pesquisa nas mais diversas áreas, e em particular no campo da Inteligência Artificial, (Amant & Young, 2001), apenas recentemente este potencial de interação começou a ser explorado. Como enfatizamos na seção anterior, o tamanho do mercado para este tipo de simulação também deve ser levado em conta.

A simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento, além de exibir os mesmos problemas dos sistemas complexos em geral, apresenta algumas características próprias. Primeiramente, ela é teoricamente *infinita* por natureza, pois embora apresente

também objetivos específicos a serem cumpridos, não há uma situação clara que determine que o jogo chegou ao fim, como o xeque-mate no xadrez. Não há limite para a quantidade de tempo que pode ser utilizada na sua execução.

E segundo, este tipo de simulação também é *interativo*, o que significa que ele é afetado pelas ações dos usuários em tempo real, e não apenas na fase de preparação inicial, como acontece normalmente com os outros tipos de simulação.

Melanie Mitchell (Casti, 1997) propõe a divisão da tarefa da criação de uma simulação de um sistema complexo em:

- Simplifique o problema do mundo real tanto quanto possível, deixando apenas o que parecer essencial para responder às questões relevantes;
- Escreva um programa que simula os agentes individuais do sistema, as suas regras individuais para ação e interação, junto com quaisquer elementos de aleatoriedade que aparentam ser necessários;
- Execute o programa muitas vezes com diferentes sementes para o gerador de números aleatórios, e colecionador dados e estatísticas das diversas execuções.
- Tente entender como as regras simples utilizadas pelos agentes individuais geram o comportamento global observado do sistema;
- Altere os parâmetros do sistema para identificar fontes de comportamento e capturar os efeitos de diferentes conjuntos de parâmetros.

Já Rasmussem & Barrett (1995) argumentam que o trabalho de se pesquisar através do uso de simulações exploratórias é dividido em quatro partes:

- Entender as implicações da capacidade da simulação de produzir hierarquias de relacionamentos emergentes;
- Criar métodos para identificar os elementos do sistema que criam os fenômenos de interesse;
- Formular modelos para os elementos importantes do sistema, que definam os subsistemas de cada elemento e as interações elemento-elemento ou objeto-objeto;
- Criar um *framework* no qual a simulação da interação destes subsistemas possa ser implementada, a fim de que os fenômenos de interesse possam ser gerados a analisados.

Baseado nestes trabalhos anteriores, nós propomos a divisão no processo de criação de uma simulação complexa para fins de entretenimento na seguinte seqüência de tarefas:

- **Definição dos Critérios de Avaliação:** definir quais os critérios que serão utilizados para conduzir a modelagem e avaliar a qualidade da simulação (como por exemplo, realismo, credibilidade, diversão, desafio);
- **Criação do Modelo:** construir um modelo, simplificando o problema do mundo real (ou criando um artificial) ao ponto necessário para responder a todas as questões relevantes;
- **Construção do Simulador:** escrever um programa que simula as entidades do sistema, os eventos que vão governar a sua interação, e mais qualquer fator aleatório necessário;
- **Testes com Usuários Reais:** executar o programa com usuários reais por um determinado período de tempo e coletar o resultado das execuções, tanto qualitativo quanto quantitativo;
- **Ajuste de Parâmetros:** modificar parâmetros na simulação para identificar fontes de comportamento e os efeitos de ajustes diferentes até que os padrões definidos sejam atingidos.

Os jogos de administração, embora freqüentemente utilizados para treinamento (Elgood, 1996), são também simulações de entretenimento. Estes jogos são aqueles nos quais os jogadores são responsáveis pela administração de recursos a fim de atingir algum objetivo. É possível se gerenciar pessoas, recursos, instituições, etc. Portanto, para se fazer um bom jogo de administração, é necessário prover ao usuário um ambiente consistente com as expectativas que o usuário tem a partir da experiência dele. Além disso, um bom jogo de administração deve ser uma representação não apenas real, mas fundamentalmente *interessante* desta realidade; ou seja, que não se prenda a detalhes excessivos. Este gênero de jogos também é conhecido na indústria como *Jogos de Simulação* ou *de Deus*. Um exemplo deste tipo de jogo é o já citado *The Sims*; uma tela deste jogo pode ser vista na Figura 2-2.

Figura 2-2 – *The Sims*

O *The Sims* é um jogo de estratégia no qual o jogador supervisiona e gerencia as vidas de uma vizinhança composta por pessoas virtuais, denominados *Sims*. Cada personagem no jogo tem alguns atributos de personalidade que determinam o seu comportamento autônomo. Entretanto, a qualquer momento, o próprio jogador pode ditar as ações dos personagens. Além destes atributos os personagens têm algumas *necessidades*, como *diversão* e *fome*, que podem estar em níveis ora altos ora baixos, e que são atendidas com *ações* do tipo ver televisão e comer uma pizza. Os Sims podem seguir *carreiras*, compostas por uma seqüência de *profissões*. Estas profissões, além de pagar *salários* que mantém e melhoram a qualidade de vida dos Sims, permitem que os mesmos avancem socialmente.

Cada Sim tem também um relacionamento específico com cada um dos outros personagens naquela vizinhança, e este tem que, sob pena de deterioração, ser mantido através de ligações e visitas. Um relacionamento forte entre dois personagens pode virar um romance, o que incentiva a formação de *famílias*. Cada família possui um terreno, no qual uma casa pode ser construída; esta casa pode ser posteriormente mobiliada, à medida que os seus habitantes forem possuindo dinheiro suficiente para arcar com os custos. Uma das características interessantes deste jogo é que ele não apresenta objetivos obrigatórios a serem atingidos para o jogador; portanto cada um deles cria não apenas as suas estratégias para vencer, mas também a *motivação* para tal. Por exemplo, algumas pessoas jogam com o

objetivo de ficarem ricas, enquanto outras jogam com o objetivo de terem uma casa confortável.

Este jogo é um exemplo representativo da dificuldade de se implementar uma simulação deste tipo. Para que ele tenha sucesso comercialmente, o jogo tem que ser divertido, desafiador e ter uma curva suave de aprendizado. Além disso, se ele representa uma situação da vida real, esta deve ser apresentada de forma plausível ao usuário.

O software que implementa este jogo também tem que atender a vários requisitos. Como qualquer jogo na indústria de hoje, os requisitos mínimos de qualidade gráfica e sonora são muito mais altos do que os das outras aplicações. A interface deve ser simples, poderosa e intuitiva, a despeito do fato de que cada vez que você melhora uma destas características você está provavelmente piorando as outras duas. Além disso, é importante manter em mente que um jogo é um software e, portanto, apresenta todos os problemas comumente envolvidos no desenvolvimento deste, como escolha de arquitetura, dificuldades de integração, controle de versão, etc.

Surpreendentemente, talvez em parte por pressões para lançar o jogo em uma data definida pelo mercado, muitos destes jogos ainda são desenvolvidos através de um processo predominantemente informal (Rollings & Morris, 2000). Esta cultura de “faça agora e ajeite depois” tem trazido diversos problemas, como atrasos, estouros de orçamento e até mesmo o cancelamento de alguns produtos. Assim, acreditamos que um maior entendimento das simulações de entretenimento é benéfico tanto à indústria quanto à academia.

### *2.3 O FUTEBOL*

O futebol é um excelente exemplo de um sistema complexo, já que um completo entendimento do jogo efetivamente não é possível através da análise individual dos jogadores. Entretanto, a sua modelagem é em princípio factível com algumas simplificações, já que existe uma grande quantidade de conhecimento comum e dados históricos para nos dizer como este sistema evolui (por exemplo, partidas de futebol geralmente não terminam em placares de 25 a 23).

Este esporte, talvez pelo fato de ser o mais popular do planeta (FIFA, 1999), tem sido amplamente explorado tanto pela comunidade acadêmica quanto pela indústria de

entretenimento. Na primeira, principalmente com a *RoboCup* (Noda & Frank, 1998), e na segunda com jogos como a série *FIFA Soccer* (EA, 2002b).

A RoboCup, ilustrada na Figura 2-3, foi criada com o intuito de estimular a pesquisa em científica através da popularidade do futebol. Regularmente, pesquisadores de diversas áreas como ciência da computação e robótica se envolvem na disputa de campeonatos disputados por robôs ou por agentes de software em uma simulação.

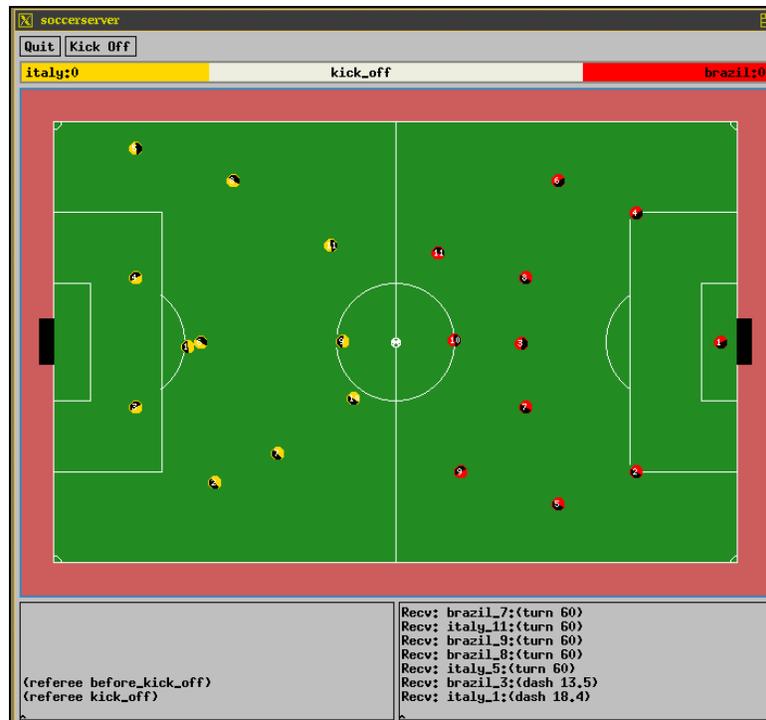


Figura 2-3 – *RoboCup*

A série FIFA Soccer, exibida na Figura 2-4, é um dos jogos de esporte de maior sucesso no mundo. Referência do estado da arte da tecnologia de visualização de ambientes 3D, o jogo põe o usuário no controle de jogadores reais de clubes reais espalhados pelo globo.



Figura 2-4 – *FIFA Soccer*

Em ambas as aplicações, o foco é na modelagem e simulação de uma partida de futebol em um nível de granularidade bem fino, incluindo cada um dos movimentos específicos individuais de cada um dos jogadores, tais como *vire noventa graus para a direita, chute com força média, avance dois metros, etc.*

Segundo Adams (1999), os jogos eletrônicos de esporte podem prover quatro tipos diferentes de interação para o usuário<sup>1</sup>:

1. Ser um jogador no campo executando as partidas;
2. Ser um técnico chamando as jogadas;
3. Ser um gerente comprando e vendendo jogadores;
4. Ser um técnico por várias temporadas, tentando construir um time a médio e longo prazo.

Alguns destes jogos supracitados apresentem algumas variações que acabam permitindo que o usuário interaja em outros níveis, como, por exemplo, negociando jogadores entre clubes. Entretanto, o tipo de interação principal fornecido por eles é o primeiro.

### *2.3.1 Os Jogos de Administração de Futebol*

Os jogos de administração de futebol envolvem todos os outros tipos de interação citados na seção anterior, apresentados em níveis diferentes. Geralmente o tipo mais privilegiado é

---

<sup>1</sup> Para distinguir os jogadores de futebol *simulados* dos jogadores do FutSim *humanos*, estes últimos serão denominados de *usuários* no decorrer deste documento.

o quarto. Outra característica que varia entre os diferentes produtos deste gênero é a escolha do modelo do mundo de futebol que é utilizado e como a simulação deste é implementada. Neste tipo de jogo, em contraste com jogos como RoboCup e FIFA Soccer, o usuário não tem controle sobre os jogadores individualmente, e sim faz a coordenação da equipe durante a partida e a gerência das atividades administrativas do dia-a-dia do clube.

Infelizmente, na literatura não há evidência de informações formais sobre este tipo de jogo, provavelmente por razões de segredo industrial. Existem diversos jogos deste gênero no mercado, mas as suas características principais podem ser representadas por estes produtos: *Championship Manager*, *FIFA Soccer Manager*, *Ultimate Soccer Manager* e *Y-SoccerSim*.

O *Championship Manager* (Sports Interactive, 2002), atualmente o jogo de computador mais popular deste gênero, coloca o usuário no papel de técnico de um clube de futebol. Como tal, ele é responsável por todas as tarefas atribuídas a este profissional, como escalar a equipe, definir os treinamentos, negociar jogadores, comandar o time dentro de campo, definir esquemas táticos, etc. Uma tela do jogo pode ser vista na Figura 2-5.



Figura 2-5 – *Championship Manager*

Neste jogo, é feita uma representação bem acurada de toda a realidade do futebol de hoje. Ele utiliza jogadores, clubes e competições reais, e é feito um constante esforço para manter a base de dados atualizada. As mudanças nas regras das competições reais, nas

formações dos times e as eventuais transferências que ocorreram no meio tempo são atualizadas na próxima versão do jogo. Entretanto, o lado mais voltado para os negócios de futebol não é representado. O contato com a parte financeira do clube se resume a negociações de compra, venda e de contratos, e do recebimento de premiações por conquistas de torneios. A parte administrativa, como administração de preço de ingressos e de patrocinadores, é inexistente. Outra característica deste jogo é que o desenrolar das partidas não é mostrado de maneira gráfica, como no *FIFA Soccer*, e sim de forma textual, ou seja, através de um conjunto de frases que descrevem o que está acontecendo no campo.

O jogo *FIFA Soccer Manager* (FIFA Soccer Manager Online, 2001) apresenta um conjunto de características bem semelhantes ao *Championship Manager*. Entretanto, este jogo permite a interação com a parte administrativa do clube de forma limitada, deixando o usuário cuidar de algumas tarefas simples, como por exemplo definindo o preço dos ingressos. A maior diferença entre os dois é que neste último há a possibilidade de se ver os acontecimentos da partida visualmente. A Figura 2-6 mostra uma partida deste jogo em andamento.



Figura 2-6 – *FIFA Soccer Manager*

No *Ultimate Soccer Manager 98* (MobyGames, 1999), além das características que os times anteriores apresentam, existe uma gestão mais completa da parte financeira e administrativa do clube, permitindo que o usuário gerencie os contratos de patrocínio e

inclusive peça empréstimos a um banco para adquirir fundos extras. Uma tela deste jogo pode ser vista na Figura 2-7.



Figura 2-7 – *Ultimate Soccer Manager 98*

A principal diferença do Y-SoccerSim (Reality Game, 2002), representado na Figura 2-8, para os anteriores é o fato de que ele é *online*. Outra diferença é o fato dele não apresentar a parte administrativa e financeira de forma completa, permitindo apenas algumas tarefas limitadas como expandir o estádio do clube. Outra característica destes jogos que ele não apresenta é a possibilidade de se ver a partida em andamento seja de forma textual ou de forma gráfica. Ele permite apenas que se veja um resumo dos acontecimentos da partida após a sua simulação.

Date	Opponent	H/A	Match type	Result	Action
Jul 10 2004	Southampton	Home	divisional match	7 - 0	
Jul 17 2004	Chelsea	Away	divisional match	0 - 0	
Jul 24 2004	Ipswich	Away	divisional match	0 - 0	
Jul 31 2004	Man Utd	Home	divisional match	2 - 1	
Aug 7 2004	Barnsley	Home	divisional match	1 - 0	
Aug 14 2004	West Ham	Away	divisional match	2 - 2	
Aug 21 2004	Leicester	Home	divisional match	1 - 0	
Aug 28 2004	Newcastle	Away	divisional match	1 - 0	
Aug 31 2004	Fulham	Away	England Cup (Round 2)	2 - 2	
sep 4 2004	Everton	Away	divisional match	2 - 1	
sep 11 2004	Birmingham	Home	divisional match	1 - 0	
sep 14 2004	Fulham	Home	England Cup (Round 2)	2 - 0	
sep 18 2004	Bolton	Away	divisional match	0 - 3	
sep 25 2004	Millwall	Home	divisional match	2 - 0	
Oct 2 2004	Sunderland	Home	divisional match	-	
Oct 5 2004	Sunderland	Away	friendly	-	
Oct 7 2004	Sunderland	Home	friendly	-	

Figura 2-8 – Y-SoccerSim

A Tabela 2-1 apresenta um quadro comparativo com algumas características dos jogos supracitados.

Características	Championship Manager	FIFA Soccer Manager	Ultimate Soccer Manager	SoccerSim
Parte administrativa	Não	Parcial	Sim	Parcial
Partida em andamento	Textual	Gráfica	Gráfica	Não
Online	Não	Não	Não	Sim

Tabela 2-1 – Quadro Comparativo entre Diversos Jogos de Administração de Futebol

### 2.3.2 O Domínio de Administração de Futebol

Embora não haja na literatura informação específica sobre outros jogos deste tipo, existe uma fonte da qual pode se extrair muita informação sobre este domínio: o próprio domínio de administração de futebol. Este domínio começou a ser estudado com profundidade nos últimos dois anos, principalmente pelas áreas de administração e economia (Audas et al, 2002) (Dawson & Dobson, 2001). Neste domínio, o futebol é visto como um negócio a ser administrado e gerido. Geralmente, também são enfocados os aspectos sociais e de governo do jogo, como a influência de regras na organização do esporte.

Os problemas enfrentados pelos pesquisadores desta área são o entendimento de como a parte administrativa de um clube afeta o desempenho do mesmo nas competições.

Questões como a decisão do momento no qual o técnico deve ser despedido apresentam todas as características de complexidade citadas anteriormente, já que para este entendimento devem ser levados em conta tanto itens mais óbvios como o desempenho do clube e a paciência do conselho administrativo do mesmo quanto outros não tão intuitivos, como se o técnico já foi jogador profissional e se ele tem experiência internacional (Hope, 2002).

Além da sua complexidade, a simulação deste domínio também apresenta algumas particularidades. Primeiramente, existe uma ampla quantidade de conhecimento a ser adquirido tanto de dados históricos quanto dos especialistas no domínio. Qualquer formalismo utilizado para modelar este domínio deve ser capaz de expressar este conhecimento.

Como todo sistema complexo, existe um inerente não-determinismo; ações nem sempre resultam nos mesmos efeitos. Por exemplo, um time forte nem sempre ganha de um time mais fraco. Qualquer abordagem a ser utilizada para modelar este domínio deve ser capaz de lidar com incerteza.

## *2.4 O FUTSIM*

O nosso estudo de caso é o FutSim (2002), um jogo de administração de futebol massivamente multiusuário online, exibido na Figura 2-9. De administração de futebol, porque apresenta as características já discutidas deste estilo de jogo: nele, o usuário assume o papel de técnico/gerente de um clube de futebol, responsável por comprar e vender jogadores e auxiliares técnicos, gerenciar partidas definindo esquemas táticos, escalações e reservas, negociar contratos de patrocínio, fazer melhorias no seu centro de treinamento e estádio, participar de campeonatos, e mais. É massivamente multiusuário online porque a grande característica deste jogo de futebol virtual é que ele une a capacidade de entretenimento de um jogo de administração à grande competitividade que advém naturalmente da sua localização em um ambiente multiusuário (neste caso, a Internet) com milhares de usuários simultâneos, gerando naturalmente uma comunidade em torno do mesmo.

The screenshot displays the 'TIME' management interface in FutSim. It features a player roster table, a tactical formation diagram, and various game settings.

#	Nome	POS	IDA	FAM	TEM	SAL	VAL	CLA	SAT	STS	DSP
4	Romeu	D EC	16	4	44m	10K	919K	D	ROT	IND	
5	Charles	D C	17	75	1m	38K	3,406K	C N V MC	TIT	IND	
6	Maurílio	D D	35	89	32m	95K	10,096K	C R D	RES	IND	
7	Fernando	D C	32	33	11m	22K	2,470K	OK	TIT	IND	
19	Carlos	D C	17	57	54m	21K	14,600K	C	DES	IND	
20	Newton	D E	32	57	25d	27K	2,525K	OK	PRO	IND	
8	Natan	M ED	20	12	26m	10K	966K	OK	TIT	IND	
9	Pablito	M E	24	73	40m	67K	6,198K	N OK	PRO	IND	
10	Leonardo	M E	29	66	57m	14K	1,455K	MD	ROT	IND	
11	Arthur	M C	26	61	30m	22K	3,882K	R OK	ROT	IND	
13	Luis	M C	18	66	1m	10K	1,051K	C N R OK	ROT	IND	
14	Geraldo	M ED	26	89	47m	124K	16,940K	D	TIT	IND	
15	Marcos	A E	21	38	41m	4K	14,056K	N OK	PRO	IND	
16	Caetano	A D	20	17	34m	10K	1,163K	C N V D	TIT	IND	
17	Heleno	A C	28	94	59m	172K	41,473K	D	ROT	IND	
18	Cleber	A D	19	44	16m	7K	688K	D	TIT	IND	

The tactical formation is 4-5-1. The game settings include: Formação Tática: 4-5-1; Estilo de Jogo: Ataque Total; Tipo do Passe: Curto; Marcação: Leve; and various checkboxes for game mechanics like Pressão, Impedimento, Contra-Ataque, Usar Laterais, and Jogo Aéreo.

Figura 2-9 – FutSim

No jogo, os usuários assumem os papéis de técnicos e gerentes, enquanto personagens como os jogadores, árbitros, assistentes, médicos, olheiros e torcedores são todos simulados. O FutSim é um jogo *infinito*: os usuários são colocados uns contra os outros com o objetivo de vencer não apenas as batalhas (partidas), mas as guerras (campeonatos), tudo isto durante um número arbitrário de *temporadas*. A cada temporada, assim como no mundo real, eles participam em um certo conjunto de *competições*. Como no *The Sims*, o usuário é responsável por determinar quais são os seus objetivos pessoais dentro do conjunto de desafios que o jogo apresenta.

É importante notar que o FutSim, assim como alguns dos outros jogos deste estilo, possibilita um *quinto* tipo de interação não discutido na classificação descrita na Seção 2.3: a interação *administrativa*, que envolve a administração dos aspectos administrativo-financeiros do clube no decorrer de várias temporadas.

Portanto, para atingir os seus objetivos, o usuário é encarregado da tarefa de coordenar os acontecimentos durante as partidas (táticas, escalações, substituições), extracampo (motivação dos jogadores, treinamentos) e administrativo-financeiros (preço dos ingressos, patrocínio, etc). Algumas das ações disponíveis para os usuários estão exemplificadas na Tabela 2-2.

Como Técnico	Como Gerente
Definir o status do jogador no time (titular, reserva, rotação, etc)	Alterar as dependências do clube (centro de treinamento, estádio, etc)
Definir e alterar as táticas do time (incluindo formação e mentalidade)	Definir a disponibilidade para transferência de um jogador (disponível para venda, para empréstimo, indisponível)
Definir escalações	Dar passe livre a um jogador
Substituir jogadores durante as partidas	Negociar contratos com os jogadores (incluindo salários, duração, cláusulas e status projetado no time)
Definir regimes de treinamento	Comprar, vender e emprestar jogadores
Definir sessões de tratamento	Negociar patrocínio
Definir requisitos de busca para os olheiros	Estabelecer preço de ingressos

Tabela 2-2 – Ações disponíveis para o usuário

Como pode ser visto através da análise destas tarefas, o FutSim também apresenta a possibilidade de se ver e alterar uma partida em andamento. Como comentado, ele apresenta uma característica distintiva: o fato de ser online. Esta característica põe os usuários uns contra os outros, diminuindo as demandas na área de inteligência artificial dos oponentes. Entretanto, ela traz uma série de problemas próprios à parte que devem ser tratados (Valadares et al, 2002a), visto que os jogos online são mais *serviços* do que *produtos*, e portanto precisam de uma estratégia mais de retenção (manter usuários no jogo) do que de atração (trazer novos usuários para jogar).

Neste ambiente, existem diversas *personagens* interconectadas (jogadores, técnicos, torcedores, árbitros), além de várias *estruturas*, tais como clubes, mundos e estádios, cada um com um conjunto particular de características. Ambas geram e são afetados por *acontecimentos* do mundo (i.e., o desempenho de um jogador afeta o resultado de uma partida, e o resultado desta também afeta o desempenho do jogador na próxima partida). Além disso, cada um destes pode ter algumas especializações: por exemplo, os assistentes estão subdivididos em três tipos (auxiliares técnicos, médicos e olheiros). Esta decisão de design foi tomada baseada no fato de que mesmo eles sendo similares estruturalmente, eles afetam o jogo de maneira bem diferente (os auxiliares afetam o clube e os jogadores, os

médicos afetam apenas os jogadores, e os olheiros apenas produzem relatórios de suas buscas). É importante que o comportamento destes personagens apresente uma certa credibilidade.

Também existe uma miríade de *acontecimentos* que ocorrem durante o jogo, tanto pela ação dos usuários (substituições, transferências) quanto automaticamente (assinaturas de contratos, partidas, contusões). Algumas destas ações, como uma alteração nos treinamentos de um clube, têm efeito *determinístico*, ou seja, é possível se determinar com certeza o seu resultado: a sessão de treino vai ser alterada. Entretanto, o efeito que os treinamentos têm nos jogadores são ações muito mais complexas, dependendo de vários fatores, desde o estado do próprio jogador até o número de jogadores que estão participando daquela sessão de treino. Além disso, ações iguais deste tipo nem sempre têm os mesmos resultados.

Tal complexo domínio apresenta um grande número de variáveis. Qualquer solução utilizada para a sua implementação também deve ser capaz de lidar com esta questão de maneira robusta.

## 2.5 CONCLUSÕES

Neste capítulo foram discutidos todos os problemas que estão envolvidos na simulação do FutSim. Foram avaliadas as dificuldades que os sistemas complexos apresentam para a sua simulação e mencionadas todas as razões pela qual esta simulação pode ser feita. Logo após, nós propusemos a divisão da tarefa de se simular um sistema complexo para fins de entretenimento em cinco tarefas: *definição de critérios de avaliação, criação do modelo, construção do simulador, teste com usuários reais e ajustes de parâmetros*. A maior formalização advinda da utilização desta metodologia deve ajudar a diminuir alguns dos problemas que envolvem desenvolvimento deste tipo de sistema.

Neste capítulo também foram discutidas as particularidades dos *jogos de administração*, incluindo uma breve análise de alguns exemplos, do *domínio de administração de futebol* e do *FutSim*, o jogo de administração de futebol online que estamos desenvolvendo, em particular. Portanto, precisamos identificar o estado da arte para a solução de cada uma das tarefas envolvidas na simulação de sistemas complexos

para fins de entretenimento e verificar onde este não se adequa aos nossos objetivos. Isto será feito nos próximos capítulos.

### 3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E CRIAÇÃO DE MODELOS

Este capítulo apresenta as formas através das quais alguns dos problemas descritos no capítulo anterior estão sendo resolvidos atualmente. O objetivo é o de fornecer uma visão do estado da arte atual para o problema de simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento, e em especial das cinco tarefas descritas na Seção 2.2. Entretanto, nesta seção discutiremos apenas sobre os dois primeiros problemas: o da definição de critérios de avaliação e o da criação do modelo. Os outros passos (construção do simulador, teste com usuários reais e ajuste de parâmetros) serão discutidos na Seção 5.

A princípio, são discutidas as questões relativas aos padrões que vão guiar o desenvolvimento da simulação. Em seguida, são discutidos os problemas envolvidos no processo de criação do modelo, com ênfase nas técnicas relevantes para o problema e em redes bayesianas em especial, detalhando os pontos nos quais estas atendem ou não às nossas necessidades.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DE PADRÕES

O primeiro passo é crucial no processo de desenvolvimento de uma simulação de entretenimento, já que ele guia todo o esforço a ser feito posteriormente. Uma decisão deve ser tomada sobre os objetivos da simulação; decisão esta que irá determinar tanto os padrões que serão utilizados para a criação dos modelos quanto o critério de parada da fase de ajustes.

Antes de se chegar nesta questão, entendemos que é importante conhecer o *porquê* das pessoas jogarem. Crawford (1982) enumera as possíveis motivações de um usuário quando ele procura um jogo:

- **Fantasiar:** as pessoas estão sempre procurando uma fuga de sua realidade do dia-a-dia;
- **Explorar:** as pessoas são fundamentalmente curiosas, e querem explorar o mundo à sua volta;
- **Obter Reconhecimento:** as pessoas estão sempre em busca do reconhecimento dos seus iguais, seja pelo seu comportamento ou pelas suas ações;

- **Socializar:** socializar é uma atividade natural ao ser humano, acontecendo em qualquer lugar onde haja uma aglomeração destes;
- **Ser Desafiado:** possivelmente a maior motivação – o usuário está sempre interessado em vencer os jogos que ele disputa.

Existem dois grandes pontos a se considerar quando criando um jogo: a *jogabilidade* e a *plausibilidade*. A jogabilidade pode ser definida como a interação entre o usuário e o jogo (Howland, 1999), e ela é responsável pela manutenção da atenção do primeiro no segundo.

Existe uma dualidade entre realismo e diversão que deve ser considerada na hora de se escolher estes padrões. Este é o âmago da questão: a simulação deve ser tão realista quanto possível, ou apenas *plausível* (Bates, 1991)? É importante destacar que o realismo, por si só, não é citado como motivação para o usuário. Acreditamos que nas simulações de entretenimento, o realismo só é interessante na medida em que ele melhora a *experiência* do usuário com o jogo, ou seja, na medida em que ele aprimora as cinco características acima.

Por exemplo, em jogos de simulação de vôo, o nível de realismo precisa ser alto, mas não tão alto como o dos simuladores de vôo utilizados no treinamento de pilotos, já que o objetivo não é criar pilotos que irão efetivamente manejar aeronaves no futuro, e sim desafiar o usuário, colocando-o no papel de um piloto. Uma representação muito próxima da realidade, como a implementação de todos os controles disponíveis para um piloto de verdade, pode prejudicar a jogabilidade e alienar o usuário comum, afastando-o do jogo. Neste caso, o crucial é manter a *credibilidade*.

Um bom argumento a favor deste fato é a reação das pessoas ao comportamento de personagens de desenho animado (ilustrados na Figura 3-1): embora aconteçam muitos eventos fisicamente irreais (como pessoas flutuando no ar e levantando bigornas pesadas) e a expressão dos personagens seja extremamente exagerada (olhos pulando da cara e coração batendo em relevo), a maneira como eles se comportam nos parece bastante convincente.



Figura 3-1 – Personagem de Desenho Animado

Acreditamos que o enorme sucesso comercial do *The Sims* venha do seu sucesso individual em todas as características de um bom jogo. Ele permite aos usuários viver outras vidas (fantasiar), observar todas as possíveis carreiras, interações e objetos que compõe o jogo (explorar), subir na vida (obter reconhecimento) interagir com outros personagens (socializar) e provê motivações variadas para o usuário (desafio). Complementando estas características, acreditamos que este sucesso venha também do fato dele lidar com um tema acessível ao público-alvo, da sua qualidade visual e sonora, da sua interface simples e elegante e, fundamentalmente, da capacidade de seus desenvolvedores de fazer uma abstração do mundo que apresenta um ótimo equilíbrio entre realismo e jogabilidade.

### 3.2 CRIAÇÃO DO MODELO

O processo de construção do modelo pode ser dividido em duas partes. A primeira, a *aquisição de conhecimento*, consiste da obtenção da informação disponível sobre o domínio. Já a *representação do conhecimento* consiste na definição de uma abstração do mundo real que seja condizente com os objetivos da modelagem e também com esta informação adquirida sobre o domínio. A pessoa responsável por estas tarefas é denominada *engenheiro de conhecimento*.

De acordo com Casti (1997), um bom modelo deve ser:

- **Adequado:** fidelidade perfeita nem sempre é desejável; o que é necessário é uma abstração “na medida certa” do problema que possa dar respostas a todas as

perguntas que devem ser feitas ao modelo em questão. Esta abstração deve levar em conta os padrões definidos para a simulação;

- ***Simples:*** o modelo deve ser tão simples quanto possível, sem atrapalhar no desempenho de sua função;
- ***Claro:*** o modelo deve poder ser entendido e utilizado por qualquer investigador interessado, não apenas pelo seu criador;
- ***Imparcial:*** um modelo apresenta imparcialidade quando as crenças pessoais do modelador não influenciam os resultados. Obviamente, no caso de simulações de entretenimento, isto é mais importante quando modelando a realidade, e não quando criando um mundo arbitrário;
- ***Tratável:*** um modelo é tratável quando o custo computacional para obter resultados dele está dentro de nosso orçamento.

### 3.2.1 *Aquisição de Conhecimento*

O processo de aquisição de conhecimento pode ser definido como o processo de extração, estruturação, e organização de conhecimento de uma ou mais fontes (Turban & Aronson, 1997). Nesta parte do processo, que consiste de uma fase de familiarização com o domínio, o problema e as suas maiores características são identificados a fim de possibilitar a sua abstração e representação em um modelo. Se necessário, o problema é dividido em subproblemas menores.

Este processo pode e deve ser conduzido com a utilização de todos os recursos disponíveis. As possíveis fontes de conhecimento se dividem em duas (Turban & Aronson, 1997): *documentadas* e *não-documentadas*.

As documentadas consistem de fontes como *diagramas de fluxo, livros e bases de dados históricos e estatísticos*. O uso destas é recomendado para a modelagem de ambientes existentes, assim como a utilização de métodos de extração de conhecimento automáticos, como aprendizado.

Já as não-documentadas são formadas por conhecimento que está na cabeça de um *especialista* sobre o domínio. As metodologias de elicitación de conhecimento são freqüentemente assimiladas da psicologia ou da análise de sistemas. Uma das maneiras

mais populares de se extrair este conhecimento é realizando *entrevistas* com especialistas sobre aquele domínio.

Entretanto, como as simulações de entretenimento freqüentemente modelam sistemas inexistentes ou fantasias apenas baseadas na vida real, acreditamos que este modelo também possa ser construído apenas baseado nos desejos do engenheiro de conhecimento, desde que esta modelagem atenda aos padrões de avaliação estabelecidos previamente.

A maneira como este conhecimento vai ser organizado e representado (Seção 3.2.2) pode determinar a sua metodologia de aquisição. Algumas das abordagens que podem ser utilizadas para a representação do conhecimento adquirido sobre o problema têm técnicas específicas que podem ser utilizadas nesta fase de aquisição. A sua exploração é recomendada, na medida do necessário e do possível. Por exemplo, em sistemas baseados em regras, o conhecimento deve ser extraído e organizado em forma de regras (Hayes-Roth et al, 1983).

### ***3.2.2 Representação de Conhecimento***

O objetivo da representação de conhecimento é o de expressar conhecimento de uma forma tratável pelo computador (Russell & Norvig, 1995). Entretanto, ter uma representação do problema é apenas parte da tarefa. Por exemplo, precisamos ter uma forma de não apenas representar os personagens que habitam o FutSim, mas também de *simular* o seu comportamento, de forma que estes personagens sejam plausíveis e interessantes para o usuário.

Analogamente, esta forma de representação também deve permitir a utilização deste conhecimento modelado para se raciocinar sobre o problema, ou seja, para se fazer *inferência*. O ideal é que este procedimento de inferência e a base de dados sejam independentes, permitindo que a pessoa que está representando o conhecimento não tenha necessidade de se preocupar em como ele vai ser utilizado para raciocínio num passo posterior.

#### **3.2.2.1 Abordagens para Tratamento de Incerteza**

A modelagem de sistemas complexos é classicamente feita através de abordagens matemáticas tais como a teoria do caos (Yorke et al, 1996). Estas abordagens têm tido

amplo sucesso em lidar com os mais diversos sistemas dinâmicos complexos, de processos químicos à administração de empresas (Gharajedaghi, 1999). Entretanto, não há uma teoria matemática capaz de tratar adequadamente a modelagem de sistemas complexos que tenham características e organização definidas, como esportes e jogos de simulação (Casti, 1997). Idealmente, a modelagem deste tipo de sistema deveria se aproveitar do conhecimento disponível sobre o domínio, como o conhecimento existente sobre o futebol que foi discutido na Seção 2.3. Portanto, uma abordagem baseada em conhecimento é recomendada.

Seguindo este raciocínio, além da abordagem *simbólica*, muito utilizada na indústria de jogos, existem três caminhos principais a seguir para se resolver o problema de representação de conhecimento em domínios que apresentam incerteza (Bittencourt, 2001): a abordagem *difusa*, a das *evidências* e a *probabilística*.

Antes de se iniciar uma discussão sobre as abordagens que podem ser utilizadas, é importante definir o que consideramos por *incerteza*. Na literatura, a incerteza é definida como *imperfeição na informação* (Bittencourt, 2001). Entretanto, esta imperfeição pode estar vindo tanto de uma informação *imprecisa* ou *vaga* (“Romário é um bom jogador”) quanto de uma informação *incerta* (“Acho que o Flamengo ganha hoje”). Entretanto, neste trabalho, para os nossos fins, vamos assumir que a informação é sempre precisa, e tratar apenas do segundo tipo de imperfeição.

A abordagem simbólica é representada pelo uso de regras de produção ou de outros formalismos equivalentes. A maioria das simulações na indústria de jogos utiliza uma variação ou outra desta abordagem, implementando as interações e o comportamento das entidades através de formalismos diversos como scripts, autômatos finitos e sistemas baseados em regras (Woodcock, 2002). Este tipo de sistema é conhecido como *funcionalmente-verdade* (*truth-functional systems*).

A utilização desta abordagem para tratamento de incerteza envolve a utilização de regras de produção com *fatores de certeza* (Shortliffe, 1976) associados a essas regras e *mecanismos* para combinar estes fatores. Sistemas baseados nesta abordagem vieram como uma forma poderosa de modelar o raciocínio de especialistas. Vários sistemas especialistas baseados em regras, como o MYCIN (Shortliffe & Buchanan, 1975), foram construídos para domínios incertos que usavam um cálculo de incerteza *ad-hoc*.

A teoria dos conjuntos nebulosos (Zadeh, 1965)   utilizada para se especificar o quão bem um objeto atende a uma vaga descri o ling stica. Esta abordagem teve bastante sucesso em aplica es comerciais, principalmente com o uso de *controladores nebulosos* (Lee, 1990). Simula es de entretenimento também usam esta técnica para adicionar incerteza aos seus sistemas com regularidade (Woodcock, 2002).

A teoria de evidências, também conhecida como teoria de *Dempster-Shafer* (Shafer, 1976), foi criada para lidar com a distin o entre *ignorância* e incerteza. Ao invés de calcular a probabilidade de uma certa proposi o, ela calcula a probabilidade de que a evidência apresentada suporta este fato, através de uma *fun o de credibilidade*.

Estas três abordagens apresentam o mesmo problema: elas não têm uma semântica clara e definida.   a  que entram as abordagens probabilísticas. Abordagens que fazem uso da teoria da probabilidade são as formas mais tradicionais de se tratar conhecimento com incerteza. Durante os anos sessenta, várias tentativas foram feitas para se utilizar o cáculo tradicional de probabilidades em sistemas especialistas (Gorry & Barnett, 1968) a fim de permitir o tratamento de incerteza. Entretanto, a explosão combinatória decorrente do trabalho de se calcular a distribui o de probabilidade conjunta de grandes conjuntos de variáveis fez com que estas tentativas fossem abandonadas e que esta tarefa fosse considerada intratável (Gorry, 1973). Porém, em 1986, o interesse no uso de probabilidade para tratar incerteza foi reanimado com a introdu o do conceito de redes bayesianas (RBs) por Judea Pearl (1986).

#### 3.2.2.2 Redes Bayesianas

A idéia principal por tr s de redes bayesianas (Jensen, 2001)   o fato de que no mundo real, a maioria dos eventos   independente dos outros. Portanto, a sua intera o não precisa ser levada em conta, favorecendo uma representa o mais local e concisa da distribui o de probabilidade conjunta. RBs não apenas são uma maneira de se expressar conhecimento de maneira simples e clara (através de grafos), mas também prov m uma maneira correta e computacionalmente tratável de raciocinar com este conhecimento em domínios com incerteza. O raciocínio básico para tratar com incerteza   identificar se a informa o (i.e., evidência) sobre um evento (uma variável aleatória) influencia a crença (probabilidade subjetiva) em outros eventos. A razão para isto   que a dependência entre eventos muda com o conhecimento de outros eventos (Jensen, 1995). A maior vantagem da abordagem de

RBs é a possibilidade de se chegar a conclusões coerentes quando se raciocinado com incerteza, mesmo com conhecimento incompleto sobre o mundo. Isto é possível porque esta abordagem captura as mudanças dinâmicas de dependência entre as variáveis aleatórias a partir do conhecimento sobre outros eventos.

Acreditamos que redes bayesianas são úteis para a modelagem e simulação de sistemas complexos por diversas razões. Primeiro, elas são formalismos adequados para a captura e manipulação de incerteza. Segundo, elas permitem uma representação clara e concisa do mundo, facilitando a tarefa de engenharia de conhecimento. Esta característica é particularmente interessante na criação de simulações de entretenimento, que geralmente tem uma equipe separada com menos conhecimento técnico para criar o jogo e outra mais técnica para programá-lo. Terceiro, elas permitem um ajuste fino das probabilidades de maneira a produzir resultados mais adequados. Esta característica permite uma maior facilidade na fase de ajuste da construção de simulações de entretenimento. E finalmente, existem boas soluções computacionais para domínios relativamente grandes. De fato, o trabalho desenvolvido por Lauritzen & Spiegelhalter (1988) e Jensen et al (1990a) apresentou um método de cálculo muito eficiente: o método da árvore de junção. Posteriormente, com o sistema MUNIN (Andreassen et al, 1989) e mais recentemente com o sistema HUGIN (Jensen et al, 1990b) foi demonstrado que os cálculos necessários para redes muito grandes podem ser tratáveis.

Uma rede bayesiana pode ser definida como um *grafo* no qual um conjunto de *variáveis aleatórias* compõe os nós, um conjunto de *arcos direcionados* conecta os pares de nós, cada nó tem uma *tabela de probabilidade condicional* que quantifica os efeitos dos pais no mesmo, e *não existem ciclos direcionados*. Uma seta de A pra B diz que A *influencia diretamente* B, e que A é *pai* de B (Russell & Norvig, 1995). Considere o seguinte exemplo, representado pela rede bayesiana descrita na Figura 3-3.

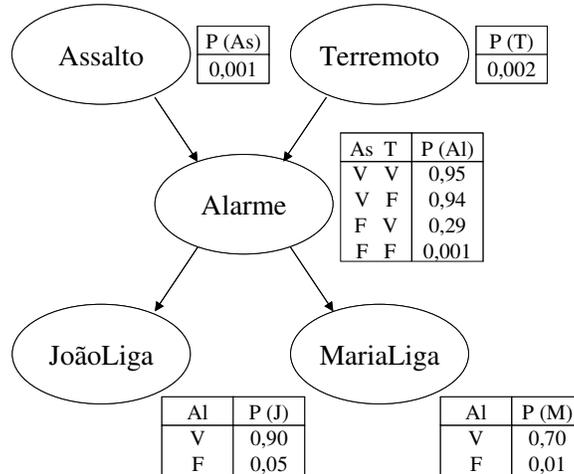


Figura 3-2 – Rede bayesiana de Exemplo

Há um alarme de roubo instalado em uma casa. Ele   razoavelmente confiável na sua tarefa, mas ele também   sensível a terremotos. Ou seja, tanto um assalto quanto um terremoto influenciam diretamente se o alarme vai tocar ou não. O dono da casa tem dois vizinhos, João e Maria, que prometeram ligar para ele caso ouvissem o alarme. De forma análoga, o fato de João e de Maria ligarem   diretamente influenciado pelo toque do alarme. João sempre liga quando o alarme toca, mas às vezes ele confunde o som do telefone tocando com o alarme e liga também. Já Maria gosta de música alta, e de vez em quando o alarme passa despercebido por ela. Neste exemplo, *As*   a probabilidade de ter havido um assalto, *T* a de ter havido um terremoto, *Al* a do alarme ter tocado, *J* a de João ligar, e *M* de Maria ligar.

Qual a chance de ter realmente havido um assalto e do alarme ter tocado, de não ter havido um terremoto, e de ambos João e Maria terem ligado? Os cálculos necessários para se fazer esta inferência diagnóstica estão detalhados na Tabela 3-1.

$  \begin{aligned}  &P(As \wedge \neg T \wedge Al \wedge J \wedge M) \\  &= P(J Al) P(M Al) P(Al As \wedge \neg T) P(As) P(\neg T) \\  &= 0,90 \times 0,70 \times 0,94 \times 0,001 \times 0,998 = 0,000591016  \end{aligned}  $
--

Tabela 3-1 – Cálculo da Probabilidade de um Evento

Também   possível se fazer inferências causais: dado que foi observado um assalto ( $P(As) = 1$ ) e não houve um terremoto ( $P(T) = 0$ ), qual a chance de João Ligar? Este cálculo está detalhado na Tabela 3-2.

$$\begin{aligned}
 & P(A_S \wedge \neg T \wedge A_1 \wedge J) + P(A_S \wedge \neg T \wedge \neg A_1 \wedge J) \\
 &= P(J|A_1) P(\neg A_1|A_S \wedge \neg T) P(A_S) P(\neg T) + P(J|\neg A_1) P(\neg A_1|A_S \wedge \neg T) P(A_S) \\
 & P(\neg T) \\
 &= 0,846 + 0,003 = \mathbf{0,849}
 \end{aligned}$$

Tabela 3-2 – C culo da Probabilidade de João Ligar

O processo de se determinar que algum evento efetivamente aconteceu (ou seja,  $P(\text{evento}) = 1$ )   denominado de *observa o*. Portanto, no exemplo acima, foi *observado* que ocorreu um assalto, assim como não houve um terremoto. Já o processo de atualizar as probabilidades de acordo com a nova informa o disponível   denominado *atualiza o de crenças*. Ou seja, dada a evidência das duas observa es acima, a crença de que João vai ligar   alterada para 0,849.

Alguns dos requisitos de um bom modelo discutidos no início desta se o, como adequa o, simplicidade e imparcialidade, são responsabilidades do engenheiro de conhecimento. Contudo, a escolha pelo uso de redes bayesianas incentiva a clareza do modelo e assegura a sua tratabilidade.

No caso da utiliza o de redes bayesianas como forma de representa o de conhecimento, a aquisi o de conhecimento pode ser feita através do uso de técnicas de aprendizado em cima do conjunto de dados disponível (Cooper & Herskovitzs, 1992) (Buntine, 1991) (Cheng et al, 1998) (Pearl, 2000).

As redes bayesianas apresentam então várias das características necessárias para a constru o de um modelo de um sistema complexo para fins de entretenimento. Entretanto, este tipo de simula o ainda apresenta mais dois requisitos que elas não atendem de maneira satisfatória.

Primeiramente, elas geralmente têm sido utilizadas para fazer raciocínio probabilístico e diagnóstico, como no caso do *Assistente do Office* (Horvitz, 2001), mostrado na Figura 3-4, um sistema de ajuda interativo que acompanha as edi es do Microsoft Office (Microsoft, 2001) desde 1997. Entretanto, elas não têm sido utilizadas para *simula o*.   necessário se identificar uma maneira de as utilizar para lidar com mudanças temporais. Embora existam RBs que tratem informa o temporal (Young & Santos Jr., 1996) (Kjaerulff, 1992), elas são utilizadas para raciocínio com esta informa o;

no nosso caso, o que é necessário é uma forma de utilizá-las para implementar os efeitos da passagem do tempo no modelo.



Figura 3-3 – Assistente do *Office*

E segundo, as redes bayesianas têm uma limitação importante para os propósitos de simulação de entretenimento: elas não apresentam um conceito explícito de variáveis de domínio ou de relacionamentos, manipulando apenas atributos. Portanto, para podermos usar este formalismo para representar o conhecimento do nosso domínio, é necessário se resolver este problema. Existem algumas extensões de redes bayesianas que as unem com outras formas de representação mais poderosas, como *frames* (Koller & Pfeffer, 1998) e *objetos* (Koller & Pfeffer, 1997).

### 3.3 CONCLUSÕES

Neste capítulo foi discutido o estado da arte para as duas primeiras tarefas envolvidas no desenvolvimento de simulações de sistemas complexos: a *definição de parâmetros* e a *criação do modelo*. Na fase de definição de parâmetros, vimos que o importante é descobrir que quesitos irão melhorar a qualidade da experiência do usuário, ou seja, permitir ao mesmo *fantasiar, explorar, obter reconhecimento, socializar e ser desafiado*, sempre de acordo com o domínio específico a ser modelado. Também foi identificado que o sucesso de um jogo depende fundamentalmente do equilíbrio entre a sua *jogabilidade* e *plausibilidade*.

Também neste capítulo, foi identificado que um bom modelo precisa ser *adequado, simples, claro, imparcial e tratável*. A fase de criação deste modelo está dividida em duas: *aquisição* e *representação de conhecimento*. A aquisição de conhecimento é a fase de familiarização com o domínio necessária para se fazer uma abstração do mesmo, e pode ser conduzida tanto através do uso de dados históricos quanto de entrevistas com especialistas sobre esse domínio.

Já a representação de conhecimento está preocupada em capturar este conhecimento adquirido de uma forma tratável pelo computador, permitindo assim a manipulação deste conhecimento. Várias formas de se representar conhecimento incerto também foram discutidas, e foi identificada a adequação do formalismo de *redes bayesianas* para os objetivos de simulação do FutSim. Entretanto, também foi visto que as RBs não atendem completamente às nossas necessidades, tanto porque elas não são muito adequadas para simulação, quanto pelo fato delas não apresentarem os conceitos de entidade e relacionamento. As nossas propostas para enfrentar estas questões estão descritas no próximo capítulo.

## 4 A NOSSA ABORDAGEM

Este capítulo mostra em detalhes a abordagem proposta e utilizada por nós para atender aos requisitos de simulação do FutSim (Valadares et al, 2002b) no que diz respeito à definição de padrões e à criação do modelo.

Inicialmente serão definidos todos os padrões que irão guiar o processo de modelagem do FutSim. Também será discutida a aquisição do conhecimento necessário para a modelagem do domínio e como complementamos o conceito de redes bayesianas para superar as suas limitações como formalismo de representação de conhecimento para permitir a simulação de sistemas complexos de entretenimento.

### 4.1 PADRÕES E AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

Em relação à definição de padrões para avaliação descrita na Seção 3.1, primeiramente é necessário se discutir qual o objetivo do jogo. No FutSim, este é o de colocar o usuário no papel do técnico/gerente de um clube.

De maneira análoga ao exemplo do simulador de vôo na Seção 3.1, no FutSim o nosso objetivo não é o de chegar até o nível físico da ação dos jogadores, como é feito por exemplo na RoboCup. Igualmente, acreditamos que não é necessário descer num nível de detalhe muito acentuado nos aspectos administrativos do jogo, desde que estas simplificações mantenham para os usuários a sensação de plausibilidade. Uma modelagem *plausível* é necessária para que o usuário se sinta *imerso* neste ambiente. Além disso, o FutSim é um jogo, e conseqüentemente tem que ser também *interessante* e *desafiador*. Quando houver algum conflito entre a realidade e a jogabilidade, a última deve levar vantagem.

O passo seguinte é o de adquirir o conhecimento a ser utilizado para a criação do modelo. Como discutido na seção anterior, este conhecimento pode ser adquirido de muitas formas, como por exemplo, mineração de dados caso haja uma base de dados históricos com casos reais suficientes. No FutSim, como este conjunto de dados reais não existia, decidimos adquirir o conhecimento a ser utilizado para a modelagem através da observação da evolução das ligas de futebol ao redor do mundo e de uma entrevista com um especialista em administração de futebol.

O nosso entrevistado foi o Sr. Adelson Wanderley, então Vice-Presidente de Futebol Profissional do Sport Clube Recife, clube de maior estrutura no estado de Pernambuco. Para conduzir esta entrevista, criamos antes um *questionário*, que foi dividido em duas partes: *hipóteses e características*. Este questionário completo, junto com as suas respostas, pode ser encontrado no Anexo A.

A primeira parte do questionário, a das hipóteses, era composta por questões do tipo “e se...” que tinham como objetivo vislumbrar o *funcionamento* do domínio. Um exemplo de uma questão deste tipo é “E se você fizer isto, o que vai acontecer?” As respostas destas questões capturam informação que deve ser utilizada na modelagem de como o mundo simulado vai evoluir.

Como exemplo do conhecimento adquirido, ao ser perguntado sobre o que fazia a diferença entre clubes equilibrados tecnicamente, o especialista respondeu que o mais importante neste caso é o equilíbrio emocional dos jogadores. Isto nos motivou a modelar este aspecto nos nossos personagens.

Uma outra informação interessante que adquirimos foi o conhecimento de que, ao contrário de nossas expectativas na qualidade de pessoas de fora do mundo do futebol, os jogadores profissionais não levam em conta a paixão por um clube na hora de decidir qual proposta aceitar. O importante para eles neste momento é a qualidade da estrutura e dos desafios que os clubes proponentes proporcionam.

Já na segunda parte do questionário, a das características, as questões eram sobre as *estruturas* do mundo. Foram feitas perguntas como “qual o salário médio de um jogador”. Estas questões tinham como objetivo fornecer informação para melhorar a qualidade da modelagem das estruturas do jogo, trazendo elas mais para perto da realidade do mundo do futebol.

Estas perguntas proporcionaram informação sobre vários aspectos do mundo real, como por exemplo os valores médios de salários dos jogadores e auxiliares, da estrutura aproximada de seus contratos e de quais componentes formam um bom Centro de Treinamento. Estas informações possibilitaram uma modelagem mais realista destes aspectos, aumentando a credibilidade e conseqüentemente a qualidade de nossa simulação do mundo do futebol.

## 4.2 CONCEITOS BÁSICOS E VISÃO GERAL

Com o conhecimento adquirido na mão, e com os critérios de um bom modelo discutidos na Seção 3.2 em mente, é possível avançar para a fase de criação do modelo. Para guiar este processo foi utilizado primariamente o conhecimento do especialista, embora certas estruturas e interações tenham sido alteradas para aumentar a qualidade do modelo enquanto jogo. Por exemplo, como o FutSim é um jogo de administração e não de ação, a modelagem detalhada das ações físicas dos jogadores em campo foi deixada de lado em prol de uma modelagem de mais alto nível, focada não nos jogadores individuais, mas no *time*.

Todos os elementos que compõe a modelagem do FutSim foram abstraídos por nós em dois conceitos principais: o de *entidades* e o de *eventos*.

As *entidades* representam todos as estruturas relevantes para o modelo, desde personagens, como os jogadores de futebol e os árbitros, até estruturas físicas, como o centro de treinamento e o estádio. No caso do FutSim, o objetivo era capturar os aspectos adequados do mundo de administração de futebol da forma mais simples possível que proporcionasse uma boa jogabilidade ao usuário.

Cada uma das entidades tem um conjunto de *atributos*. Por exemplo, o *Jogador*, entidade que representa o jogador de futebol virtual, é composto por diversos atributos que o caracterizam no mundo. Por exemplo, cada jogador tem alguns atributos que expressam a sua habilidade em jogar futebol: *Chute*, *Passe*, e *Marcação*. Estes atributos em especial são representados através de valores entre 0 e 100; quanto mais alto eles forem, maior a habilidade do jogador naquela característica. Já o *Assistente*, que representa o auxiliar técnico que executa os treinamentos, apresenta três atributos específicos para a sua profissão: *Habilidade de Treinar Chute*, *Habilidade de Treinar Passe* e *Habilidade de Treinar Defesa*. Assim como no jogador, estes atributos também são inteiros entre 0 e 100. Uma *Sessão de Treinamento* consiste de um *Tipo*, de um *Assistente* responsável e de um grupo de *jogadores*. O tipo de treino determina os atributos do jogador que vão ser treinados e qual o atributo do assistente que vai ser utilizado durante o treinamento. Neste caso, existem três tipos de treino: *Chute*, *Passe* e *Defesa*, que envolvem as habilidades homônimas das personagens, ou seja, o tipo de treino Chute envolve o atributo Chute do

Jogador e o atributo Habilidade de Treinar Chute do Assistente. Uma definição destas entidades pode ser vista na Figura 4-1.

Jogador	Assistente	SessaoTreinamento
-Chu: int[0..100] -Pas: int[0..100] -Mar: int[0..100]	-HabChu: int[0..100] -HabPas: int[0..100] -HabMar: int[0..100]	-Tipo: {Chu, Pas, Mar} -Ass: Assistente -Jog[: Jogador
		+Treinar (Tipo, Ass, Jog)

Figura 4-1 – Entidades de Exemplo

A modelagem e a implementação das entidades pode ser feita através do uso de *objetos* (Booch, 1994). Preferimos modelar as entidades como objetos para complementar as redes bayesianas a simplesmente utilizar extensões deste formalismo (Koller & Pfeffer, 1997) (Koller & Pfeffer, 1998) porque esta ligação direta com objetos possibilita a utilização de uma linguagem de uso geral sem a necessidade de outra linguagem de representação que não as próprias redes bayesianas por cima. Esta abordagem, adotada pela maioria das simulações de entretenimento na indústria atualmente, é um ótimo compromisso entre a clareza do modelo, expressividade e poder computacional. Após a definição da estrutura deste modelo, deve ser feita a definição de como os objetos vão interagir entre si, e de como as inferências necessárias serão feitas.

Já os *eventos* são os acontecimentos do mundo. Quando eles ocorrem, a consequência de sua execução é influenciada pelo estado atual do mundo, que está armazenado nas entidades. Entretanto, logo após a realização destes eventos, os seus resultados são aplicados de volta ao estado do mundo. É esta relação entre as entidades e os eventos que permite ao modelo do mundo implementado no FutSim evoluir com o passar do tempo.

Os eventos no FutSim podem apresentar dois tipos de resultados: *determinísticos* e *não-determinísticos*. Os determinísticos são os que, dadas as mesmas condições iniciais, apresentam sempre os mesmos resultados. Já os não-determinísticos podem ser sempre diferentes independentemente das condições iniciais.

Um resultado determinístico, como o do evento de alteração na escalação de um time pelo usuário, é caracterizado pela simples alteração do estado de uma entidade (neste caso, da escalação). Por exemplo, o evento *Alterar Sessão de Treino* altera a forma como os treinos de um clube estão sendo feitos pela ação do usuário através da interface. O estado da entidade *SessaoTreinamento* é alterado através da modificação das características desejadas na tela de treinamento pelo usuário. Por exemplo, o usuário escolhe o tipo de treino Chute e adiciona um assistente com Habilidade de Treinar Chute 80 e um jogador com Chute 20 à sessão.

Já eventos com resultados não-determinísticos, como a reação de um jogador por ter sido retirado ou colocado na escalação do time, são caracterizados por uma atualização de crença em uma rede bayesiana, seguida pela alteração no estado de alguma entidade. Quando este evento acontece, as entradas da rede em questão são carregadas com a informação disponível no mundo. Através desta propagação de evidência, as probabilidades de cada uma das saídas possíveis são calculadas. Para definir qual o efeito que este evento vai ter no mundo, uma das saídas é escolhida aleatoriamente, com chance proporcional a estas recém-calculadas probabilidades. O resultado sorteado é então aplicado ao estado da entidade em questão.

Por exemplo, diariamente o evento *Efetuar Treinamento* é executado. Ele tem como resultado a execução dos treinos, com a utilização da informação que está armazenada na entidade *SessaoTreinamento*. Como o resultado do treino é não-determinístico, este método utiliza uma RB, *ReacaoSessaoTreinamento*, para modelar este efeito do treinamento nos jogadores que estão participando da sessão. Esta rede, descrita na Figura 4-2, tem como entradas os *Atributos* relevantes deste jogador e do assistente responsável pela sessão. Como as RBs convencionais não trabalham com valores contínuos, estes atributos devem ser discretizados em faixas antes de alimentados. Neste exemplo, para os valores de 0 a 100, devem ser usadas três faixas: 0-33, 34-66 e 67-100. Esta rede é utilizada para verificar o *Efeito* do treinamento no atributo que está sendo treinado de cada jogador envolvido na sessão de treino: -1, 0 ou +1.

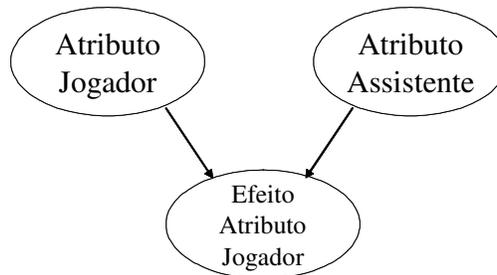
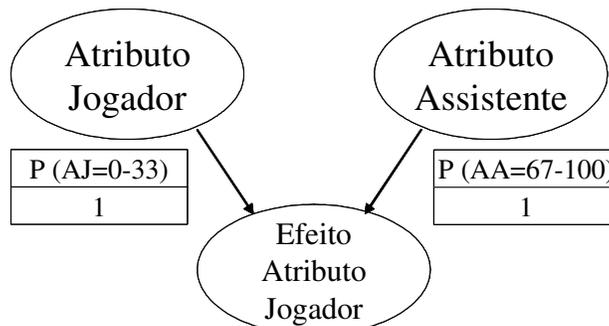


Figura 4-2 – Rede *ReacaoSessaoTreinamento*

As entradas da rede são observadas com os valores devidos, e é feita uma propagação de evidência, modificando as probabilidades posteriores. No nosso exemplo, o atributo relevante do jogador (Chute), é igual a 20 (o deixando na faixa 0-33), e o atributo relevante do assistente (Habilidade em Treinar Chute) é igual a 80 (dentro da faixa 67-100). A propagação destas observações altera as probabilidades no nó *Efeito Atributo Jogador* (EAJ). A Figura 4-3 detalha as probabilidades envolvidas neste exemplo. As probabilidades que vão ser utilizadas na saída estão destacadas. Podemos ver que neste caso, temos  $P(EAJ = -1) = 0,2$ ,  $P(EAJ = 0) = 0,3$  e  $P(EAJ = +1) = 0,5$ , determinando que caso um jogador que não sabe chutar muito bem vá treinar com um bom técnico, tem uma boa chance dele melhorar a sua habilidade neste fundamento.



AJ	AA	P (EAJ=-1)	P (EAJ=0)	P (EAJ=+1)
0-33	0-33	0,7	0,2	0,1
34-66	0-33	0,5	0,3	0,2
67-100	0-33	0,2	0,3	0,5
0-33	34-66	0,5	0,3	0,2
34-66	34-66	0,3	0,4	0,3
67-100	34-66	0,1	0,2	0,7
<b>0-33</b>	<b>67-100</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>
34-66	67-100	0,1	0,2	0,7
67-100	67-100	0,05	0,1	0,85

Figura 4-3 – Rede *ReacaoSessaoTreinamento* com Probabilidades

De acordo com as probabilidades e o número gerado, o efeito é definido. Cada possível saída é alocada um intervalo de valores entre 0 e 1 de acordo com a sua probabilidade de acontecer. É então gerado um número aleatório, também entre 0 e 1, e um dos efeitos é escolhido de acordo com o intervalo ao qual este número gerado pertence. Após a definição, o resultado escolhido é aplicado ao atributo relevante do jogador. Neste exemplo, se o número gerado for aproximadamente 0,4, o atributo Chute do jogador não sofrerá alteração (Efeito = 0). Os valores envolvidos neste processo de seleção da saída adequada são detalhados na Tabela 4-1.

Probabilidade	Intervalo	Efeito
0,2	[0-2)	-1
0,3	[0,2-0,5)	0
0,5	[0,5-1]	1

Tabela 4-1 – Efeito no Atributo do Jogador

É importante notar que estamos fazendo um uso não convencional de redes bayesianas. Estas geralmente são instanciadas para uma situação específica; no nosso caso, nós as utilizamos para atender a um conjunto de situações do mesmo tipo. A rede do alarme, mostrada no Capítulo 3, representa aquele alarme em especial; já a nossa rede *ReacaoSessaoTreinamento* diz respeito às reações de jogadores quaisquer às sessões de treinamento quaisquer, com um assistente qualquer. Esta instanciação para uma situação específica é feita através do carregamento nas entradas da rede dos jogadores, sessão de treinamento e assistentes relevantes naquele momento. Após esta utilização, a rede instanciada é jogada fora.

Com isto, nós definimos um modelo de simulação que combina conceitos de entidade, relacionamento, probabilidade e tempo. No restante deste capítulo, é feito o detalhamento de algumas entidades e eventos do FutSim. Como o FutSim é um produto comercial, não é indicado se fazer um detalhamento completo de todas as suas entidades, visto que este conhecimento poderia permitir a certos usuários uma vantagem desleal na hora de participar do jogo. Entretanto, acreditamos que este detalhamento não precisa ser completo para garantir um entendimento correto deste trabalho.

### 4.3 ENTIDADES

Esta seção tem como propósito discutir mais a fundo o conceito de entidade e descrever mais detalhadamente algumas das entidades que foram modeladas no FutSim.

O FutSim pode ser visto como um sistema multi-agente, onde os agentes são entidades tais como jogadores de futebol, assistentes e olheiros. Embora possa parecer que os agentes do FutSim são *reativos*, como os da Figura 4-4 (Russell & Norvig, 1995), eles na verdade não raciocinam e agem, e sim simplesmente *mudam de estado* de acordo com a informação disponível no mundo exterior.



Figura 4-4 – Agentes Reativos

Neste trabalho, nós fazemos uso do conceito de entidades com atributos para complementar as redes bayesianas com as noções de entidade e de relacionamento que estas não são capazes de apresentar. Na verdade, o que fazemos é utilizar as entidades para *encapsular* as variáveis aleatórias utilizadas pelas RBs em estruturas e relacionamentos significativos.

Um diagrama com as principais entidades do FutSim e os seus relacionamentos pode ser visto na Figura 4-5. Estas entidades serão descritas com mais detalhes no resto desta subsecção.

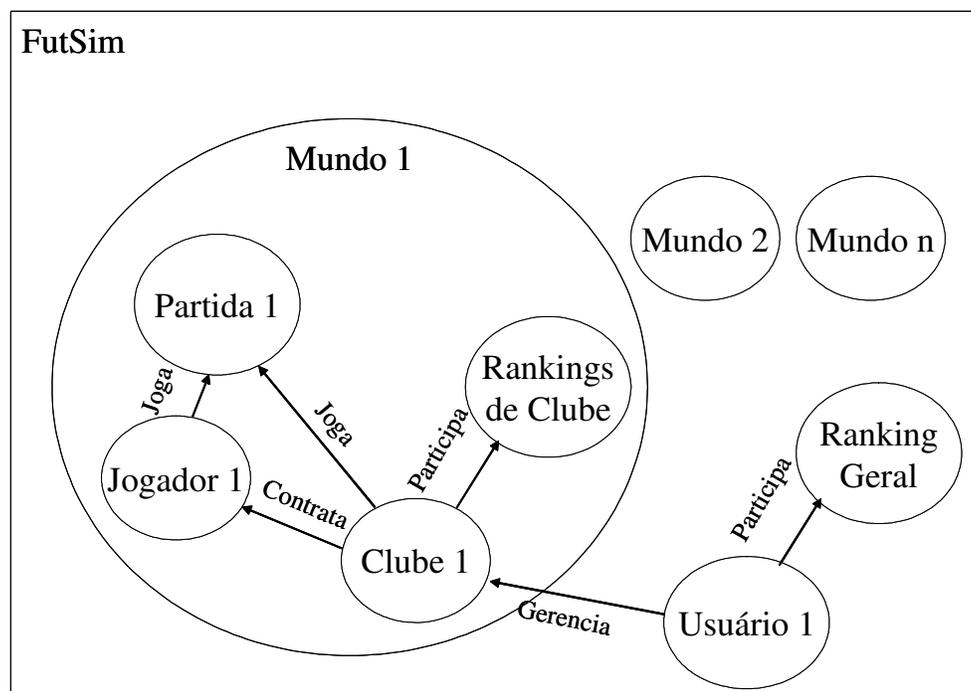


Figura 4-5 – Principais Entidades do FutSim

### 4.3.1 Mundo

O propósito desta entidade é duplo: ela organiza as outras entidades em grupos relevantes e controla a passagem do tempo. Esta entidade efetivamente divide o FutSim em pequenos grupos que evoluem paralelamente de forma independente. Cada mundo tem seu próprio conjunto de personagens. Entretanto, eles têm o mesmo conjunto de clubes e a mesma estrutura, descrita abaixo.

Cada mundo é composto por uma *Liga*, com sessenta clubes, que por sua vez é dividida em três *Divisões* de vinte clubes cada. Estas divisões, análogas ao conceito de divisão nos campeonatos reais, foram criadas para permitir promoções e rebaixamentos. Cada divisão tem uma *Tabela*, similar à que existe no futebol real, que controla quão bem cada clube está indo. O mundo também tem uma *Lista de Transferência*, que mostra todos os jogadores e assistentes disponíveis (sem contratos ou disponibilizados para negociação pelos seus clubes).

As *Temporadas* dão ao avanço do tempo no jogo uma natureza cíclica. Uma única liga começa e termina durante uma temporada. Quando uma temporada termina, todas as promoções e rebaixamentos entram em efeito, e a nova, reorganizada liga está pronta para começar.

A *Data Atual*, também é um atributo do mundo. Esta data inclui a hora atual do sistema. Muitos eventos do jogo (partidas, treinamentos, tratamento de contusões, negociações de jogadores) estão ligados à passagem do tempo, e são executadas de acordo com a data atual do mundo. Por exemplo, as partidas têm hora marcada para ocorrerem, e existem eventos que regularmente determinam os resultados de acontecimentos como os treinamentos.

### 4.3.2 *Rankings*

Para medir o desempenho dos usuários e dos clubes no FutSim, foram criados os *Rankings*. Assim como os rankings reais, eles servem para organizar os seus participantes de forma a determinar o quão bem cada um deles está naquele momento. Existem dois tipos de rankings: o de *Clubes* e o de *Usuários*. Esta distinção é feita porque no FutSim os clubes são entidades independentes dos usuários: em uma mesma temporada um usuário pode ter administrado diversos clubes, sempre um de cada vez.

Cada mundo tem um ranking de clubes que organiza os clubes deste mundo, e está dividido em dois, *Histórico* e *Temporada*, representando respectivamente o quão bem aquele clube está durante todo o período do jogo (possivelmente considerando diversas temporadas) e nesta temporada em particular. Rankings como estes existem no mundo real. No FutSim, eles são calculados baseados no desempenho dos usuários nas *partidas*, levando em consideração os seus adversários nas mesmas. Portanto, ganhar de um usuário fraco dá menos pontos do que ganhar de um forte. Para incentivar o bom desempenho administrativo-financeiro do usuário, além dos seus resultados nas partidas, o seu desempenho *financeiro* (se ele teve lucro, prejuízo, etc) também é levado em conta neste ranking.

Já o ranking de usuários também está dividido em dois, mas de maneira diferente. Ele sempre leva em consideração o desempenho do usuário desde o início do jogo, mas enquanto em um deles ele leva em conta apenas os usuários ligados a um certo *Mundo*, no outro todos os usuários do *FutSim* são levados em conta. Estes rankings foram criados

porque acreditamos que a existência de diversas formas de competição é benéfica, gerando mais objetivos intermediários para o usuário (ser o primeiro do ranking, etc). Isto é importante principalmente em jogos que não têm um objetivo final claramente definido, como o FutSim.

### 4.3.3 *Negociações*

O processo de negociação (transferência de personagens de e para clubes) no FutSim envolve algumas entidades. As negociações são normalmente de três tipos: *Contratação*, *Compra* e *Empréstimo*. A contratação ocorre entre um clube e um auxiliar e entre um clube e um jogador que não está sob contrato com nenhum clube. A compra ocorre quando um clube quer um jogador que tem contrato com outro clube. O empréstimo acontece quando um jogador é emprestado para outro clube sem que haja a transferência efetiva dele; é mantido o contrato dele com o clube original, mas ele passa a jogar pelo clube ao qual ele está emprestado.

Caso um jogador esteja sob contrato e outro esteja interessado em obtê-lo, é necessário se pagar uma certa quantia, determinada pelo *Valor do Jogador* ao outro clube. Só após a negociação entre os clubes estar fechada é que se começa a negociar um contrato com o jogador em si. No caso dos auxiliares, a negociação acontece direto com ele; entretanto, se ele estiver sob contrato, há uma *Multa de Rescisão* que deve ser paga ao clube que está cedendo o auxiliar para que a transferência ocorra. No caso do empréstimo, o jogador a ser emprestado não negocia com o clube, já que esta negociação não afeta o seu contrato. Entretanto, após a negociação ser fechada entre os clubes, ele tem o poder de vetá-la.

A passagem do tempo afeta as negociações de jogadores através da definição de uma *Data de Expiração* para as mesmas. Esta data é o limite de tempo no qual o negócio tem que ser fechado. Ela é necessária para evitar que existam muitas negociações pendentes no sistema.

### 4.3.4 *Clube*

Os clubes são as entidades importantes do futebol, já que o esporte está organizado em torno deles. No FutSim, os clubes são compostos de dois aspectos principais: o gerencial e o tático.

A parte gerencial é a que envolve o processo de administração do clube, incluindo tarefas como melhora das dependências do mesmo, negociação de patrocínios e definição do preço de ingressos. Nesta visão, o clube é composto por um *Nome*, um conjunto de *Dependências*, um *Patrocinador* e um *Saldo Bancário*. As dependências, que representam a infra-estrutura do clube, são compostas de um *Centro de Treinamento* e um *Estádio*, que por sua vez é composto por uma *Capacidade* e do atual *Preço de Ingresso*. O patrocinador é formado pelo *Nome* do mesmo, pelo *Valor do Patrocínio* que ele paga mensalmente e pela *Duração do Contrato*, em meses. O Saldo Bancário é basicamente quanto dinheiro o clube tem.

O aspecto tático é encapsulado em uma sub-entidade, o *Time*, que é a parte do clube que se preocupa apenas com as decisões específicas sobre futebol. Um time é composto por uma *Lista de jogadores*, um conjunto de *Táticas* (como a formação tática 4-4-2) e uma *Escalação* de jogo (incluindo reservas). O time também tem um atributo de *Forma*, usado para mostrar quão bem o time está jogando agora. Este atributo foi criado porque times têm momento – ou seja, o seu desempenho tende a permanecer constante entre uma partida e outra.

#### 4.3.5 Jogador

Os jogadores foram modelados com diversos atributos, que foram agrupados de acordo com a sua função. Um jogador tem atributos *Comuns*, *Físicos*, e *Psicológicos*.

Os atributos *comuns* são os mesmos que todos os outros personagens apresentam: o *Nome* e a *Idade*. Estes atributos são utilizados respectivamente para identificar a personagem e para controlar a passagem desta pelo jogo. Quando um jogador é gerado, ele começa com uma idade por volta de 16 anos. Ao chegar aos 35, ele se aposenta e é retirado do jogo. Além disso, alguns de seus atributos evoluem com o passar do tempo; por exemplo, à medida que o jogador vai envelhecendo, alguns de seus atributos específicos de futebol decaem.

Os atributos *físicos*, tais como os atributos *Chute*, *Passe* e *Marcação* descritos na Seção 4.2, determinam o quão bom o jogador é nestas características. Também há um atributo *Forma* que determina o quão bem ele está jogando naquele determinado momento. Estes atributos estão representados por inteiros de 1-100. Estes atributos são utilizados para

estimar o resultado das ações dos jogadores durante a partida, e portanto ajudam a determinar o resultado das partidas.

Estes dois conjuntos de atributos acima são suficientes para uma modelagem orientada para a ação de futebol; mas no domínio de administração de futebol, é necessário algo mais. O especialista chegou até a dizer que os jogadores de futebol não são diferentes das estrelas da mídia: eles precisam ser amados para jogar bem. É necessária então uma dimensão *psicológica* para estes personagens. Três elementos são ditos essenciais para a construção de personagens, tanto para uso na mídia tradicional quanto em jogos: a *personalidade*, o *estado emocional* e as *atitudes* (Reilly, 1996).

A personalidade determina a parte do comportamento daquele personagem que lhe é característica, e portanto ajuda a distinguir um personagem específico de outro (Silveira, 1996). Ela tende a permanecer constante durante o tempo de vida do mesmo. Portanto, para que ela atinja melhor o seu objetivo, ela deve ser *caricaturada* e *duradoura*.

Já o estado emocional é uma parte instável do comportamento do personagem, que tende a mudar rapidamente de acordo com os estímulos externos (Ruch, 1941). Ela tem um caráter reativo, e ajuda fortemente a determinar o comportamento imediato dos personagens.

As atitudes representam as relações pessoais, ou seja, sentimentos relacionados a personagens específicos (Reilly, 1996). Em muitos domínios é importante se poder determinar *preferências* específicas por este ou aquele personagem, assim como ter a possibilidade de *confiar* ou não nestes.

Para representar a personalidade de um jogador, temos atributos psicológicos, tais como *Ambição*, *Pressão* e *Profissionalismo*, características que são razoavelmente constantes durante a vida de um jogador. Estes atributos acima determinam, respectivamente, o quanto ele quer ter sucesso na sua carreira, o quão bem ele joga quando sobre pressão, e o quão profissional é a sua atitude em relação ao seu trabalho. Para o estado emocional, é utilizada a *Satisfação* de um jogador, que determina o quão feliz o jogador está naquele determinado momento. Para modelar as atitudes, existem as *Preferências*, atributos que determinam como ele está se sentindo em relação a outras entidades (outros personagens e até mesmo usuários) no jogo. Estes atributos são

responsáveis por modelar a resposta emocional dos jogadores sobre os eventos que acontecem no mundo simulado.

A ambição, pressão e o profissionalismo do jogador são representados por um inteiro entre 1-100 – o quanto maior, mais ele apresenta esta característica na sua personalidade. A satisfação é representada pelo conjunto de todos os seus possíveis estados (Muito Descontente, Descontente, OK, Contente, Muito Contente). Já as preferências do jogador são representadas por um conjunto de pares [Personagem, Opinião], com personagem sendo preenchido por uma referência para o personagem sobre o qual ele tem esta atitude e opinião tendo valores entre três diferentes estados possíveis (Odiado, Indiferente, Favorecido).

Alguns dos atributos do jogador são *escondidos*, i.e., não visíveis para o usuário. Estes atributos são os que compõem as atitudes e a personalidade. O usuário tem que deduzir estes através do comportamento dos personagens. Assim, como na vida real, você só conhece realmente uma destas personagens quando você convive com ela. Esta decisão foi tomada para impedir que os usuários tivessem uma idéia precisa do comportamento das personagens, permitindo assim que os usuários *fantiassem* em relação à personalidade das mesmas. É muito comum a personificação do computador quando se está jogando (“o computador me roubou!”); é do nosso interesse explorar ao máximo esta característica.

#### 4.4 EVENTOS

Os eventos são acontecimentos através dos quais a passagem do tempo afeta ao sistema. Este conceito foi usado por nós para permitir o uso de redes bayesianas em simulação. Existem três tipos de eventos no FutSim: eventos de *usuário*, eventos *programados* e eventos *propagados*. A Figura 4-6 mostra como os eventos interagem as entidades, e a Figura 4-7 resume a forma de funcionamento de cada um deles.

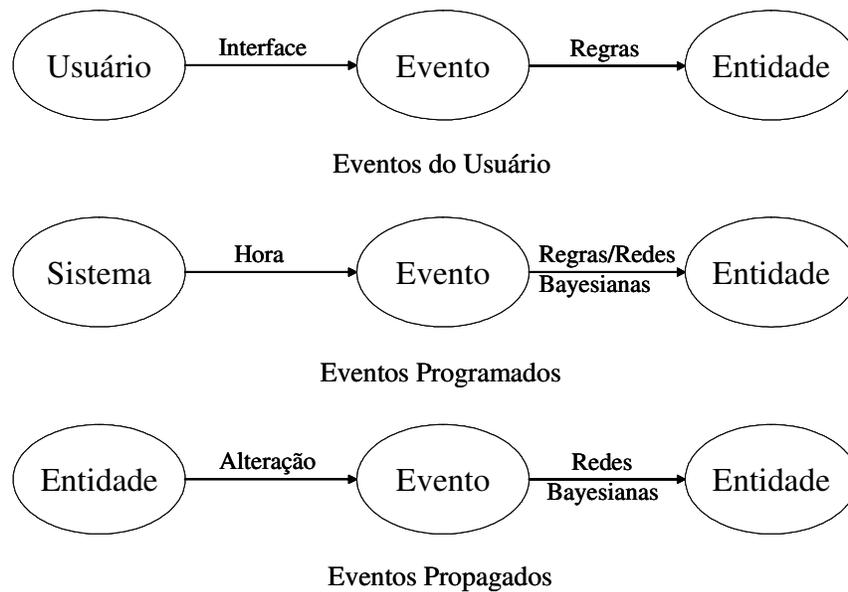


Figura 4-6 – Interação dos Eventos com as Entidades

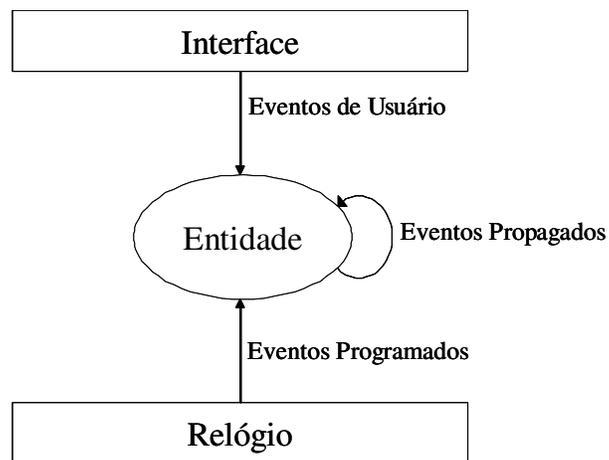


Figura 4-7 – Funcionamento dos Eventos do FutSim

A Tabela 4-2 apresenta uma lista de alguns eventos do FutSim, seus respectivos tipos e uma breve descrição de cada um.

Nome do Evento	Tipo	Descrição
Alterar Disponibilidade	Usuário	Altera a disponibilidade de um jogador para negociações.
Alterar Sessão de Treino	Usuário	Altera o tipo e os jogadores envolvidos em um treino.
Dar passe livre	Usuário	Despede um jogador.
Efetuar Treinamento	Programado	Calcula diariamente o efeito do treinamento nos jogadores.
Iniciar Partida	Programado	Inicia a simulação da partida.
Analisar Propostas	Programado	Análise de propostas de contrato pelos personagens.
Reação à alteração na Disponibilidade	Propagado	Reação de um jogador a uma alteração em sua disponibilidade para negociações.
Reação ao recebimento de Passe Livre	Propagado	Reação do jogador ao receber passe livre (ser despedido).
Reação ao Fim da Partida	Propagado	Reação do jogador ao resultado de uma partida que ele disputou.

Tabela 4-2 – Eventos do FutSim

Os eventos que tem conseqüências determinísticas, ou seja, que sempre apresentam o mesmo resultado no mundo, são modelados através de regras. Por exemplo, a demissão de um jogador gera o cancelamento de seu contrato. Porém, para modelar o efeito dos eventos que tem incerteza associada, como a reação deste mesmo jogador ao fato de seu contrato ter sido cancelado, são utilizadas redes bayesianas. Esta rede ou conjunto de redes descreve como e com qual a probabilidade certos eventos afetam as entidades envolvidas, de acordo com a observação das entradas. As probabilidades específicas foram definidas de acordo com o conhecimento adquirido. As probabilidades dos nós de entrada não são especificadas, já que estas são sempre observadas a partir da informação disponível no mundo. A propagação de evidências entre estas redes é feita sob demanda: à medida que um evento necessite da observação e conseqüente propagação de evidências em alguma rede, esta é efetuada.

A modelagem das redes bayesianas envolvidas na simulação de eventos não-determinísticos foi feita utilizando métodos clássicos de engenharia de RBs (Bangsø and Wuillemin, 2000) (Mahoney and Laskey, 1996) (Laskey and Mahoney, 1997) (Koller & Pfeffer, 1997) (Jensen, 2001). Além destes métodos, um esforço foi feito para dividir a informação sobre o domínio em várias sub-redes diferentes. Os benefícios deste design são duplos: não apenas melhora a legibilidade da modelagem para outros investigadores interessados, mas também melhora o desempenho, já que as necessidades computacionais e de modelagem das RBs crescem com o número de variáveis. O processo de modelagem garante que a subdivisão destas redes em redes menores respeita o critério de *d-sepset*, ou seja, todos os pais dos nós na interseção das RBs em questão devem estar todos na mesma sub-rede (Xiang, 1996). Como estas redes são sempre instanciadas de novo a cada utilização, não guardando assim nenhuma memória de acontecimentos anteriores, não há possibilidade de aparecerem problemas de consistência entre elas na fase de uso.

#### *4.4.1 Eventos de Usuário*

Os eventos de usuário são uma abstração para tratar as ações que o usuário faz no jogo através da interface, como a alteração da escalação de um time. Eles são responsáveis por modelar o impacto imediato destas ações do usuário.

Este evento é composto apenas por uma alteração nas entidades modificadas pela ação do usuário. Por exemplo, uma alteração em uma sessão de treinamento tem como efeito apenas a modificação da informação armazenada nesta entidade, como no exemplo presente na Seção 4.2.

#### *4.4.2 Eventos Programados*

Estes eventos são os responsáveis por modelar os efeitos da passagem do tempo no jogo. Eles podem tanto ser regulares ou acontecerem uma única vez de acordo com alguma ação do usuário.

Os regulares representam eventos que precisam acontecer com uma certa frequência, como o pagamento da folha de pessoal de um clube no fim do mês e o acontecimento das partidas de uma competição. Todos estes têm uma data e hora marcadas para ocorrer.

Por exemplo, quando a hora de uma partida chega, o evento Atualizar Partida é ativado. Nesta primeira versão, as partidas foram tratadas como caixas pretas. Na hora em que elas acontecem, informações sobre os times e personagens envolvidos (jogadores e time) são usadas para determinar o resultado da partida. Como pode ser visto na Figura 4-8, tanto os atributos específicos de futebol como as opções táticas do mesmo são utilizadas para determinar a qualidade do ataque do time. De maneira análoga, isto é feito para determinar a qualidade da defesa do time. Uma outra rede leva em conta os atributos dos dois times envolvidos na partida. Esta rede é simulada 90 vezes para cada time (representando uma chance por minuto para cada time durante os 90 minutos de partida), confrontando os atributos de ataque e defesa de cada clube de acordo com quem está tendo a chance, e tem como saída se aconteceu um gol ou não. Por razões de simplificação, nesta primeira versão estamos deixando de fora alguns acontecimentos importantes, como o efeito que um gol tem durante a partida sobre o outro time. Quando o tempo termina, o placar final é determinado. Assim que isto acontece, as tabelas da liga da qual esta partida faz parte são atualizadas com o resultado, assim como a satisfação dos jogadores, além do momento e a forma tanto dos jogadores quanto dos times.

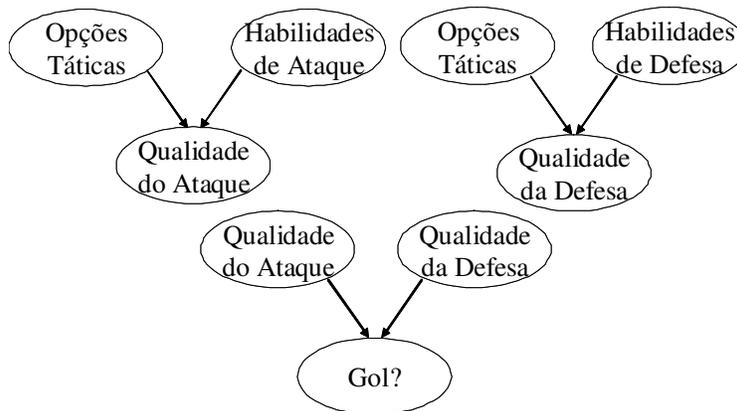


Figura 4-8 – Redes da Partida

Os eventos programados também podem ser criados a partir de eventos do usuário. Estes ocorrem apenas uma vez e em uma hora determinada no momento de sua criação. Por exemplo, vejamos o resultado de uma avaliação de contrato. Uma definição de uma *Proposta de Contrato* pode ser vista na Figura 4-9.

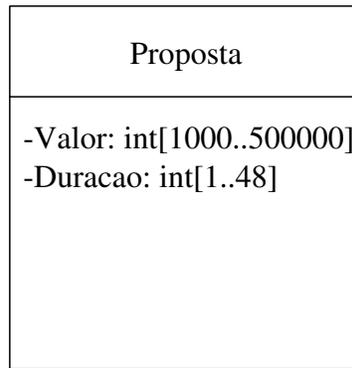


Figura 4-9 – Entidade Proposta de Contrato

Cada proposta envolve um *Valor de Salário*, inteiro entre 1.000 e 500.000, e uma *Duração* em meses, de 1 a 48. Assim que um usuário faz uma proposta de contrato a um jogador, é criado um evento de *Analisar Proposta*, que vai ser executado dali a quatro horas, para definir a resposta do jogador à proposta. Este “atraso” entre o recebimento da proposta e a sua avaliação foi implementado para dar mais realismo à negociação, já que no mundo real há uma certa demora até que a proposta chegue ao jogador, que ele a avalie, tome uma decisão sobre a mesma, e envie uma resposta. Neste exemplo, usuário faz uma proposta de contrato para um jogador: esta proposta é composta por um salário de 10.000 e uma duração de 24 meses. Algum tempo depois, quando o evento *Analisar Proposta* é ativado, o sistema identifica que chegou o momento de analisar esta proposta. Como a análise em si é um evento não-determinístico, ela é feita através uma rede, de maneira análoga ao evento *Efetuar Treinamento*, descrito na Seção 4.2.

#### 4.4.3 *Eventos Propagados*

Às vezes, o efeito de uma alteração em uma entidade pode ser mais complexo. Os eventos propagados são eventos que surgem de algumas destas alterações. Todos estes eventos têm resultados não-determinísticos, e portanto apresentam redes bayesianas associadas.

Por exemplo, ao se alterar a escalação de um time, a estrutura que armazena o grupo de jogadores escalados é modificada; esta alteração ativa um evento, *Reação à Modificação na Escalação*, que calcula a reação psicológica destes jogadores às modificações feitas na escalação. Isto é feito através de uma atualização na Satisfação dos mesmos.

### 4.5 *TRABALHOS RELACIONADOS*

Esta subseção discute alguns trabalhos que estão relacionados de alguma forma com a nossa abordagem.

Existem diversas abordagens que foram desenvolvidas para permitir a incorporação do elemento tempo em redes bayesianas, como as redes bayesianas temporais (Young & Santos, 1996) e as redes bayesianas dinâmicas (Dean & Kanazawa, 1988). Por exemplo, estas últimas modelam a evolução estocástica de um conjunto de variáveis aleatórias, estendendo a representação de uma distribuição de probabilidade sobre um conjunto de variáveis para modelar processos temporais. Entretanto, na nossa abordagem não era do nosso interesse modelar o efeito do tempo, e sim criar uma forma para permitir a evolução do modelo com o tempo.

Outras abordagens tinham como objetivo estender a capacidade de representação das redes bayesianas, permitindo que elas expressassem noções de relação e de entidade. Algumas destas abordagens são as redes bayesianas relacionais (Jaeger, 1997) e as redes bayesianas orientadas a objeto (Koller & Pfeffer, 1997). Estas últimas combinam uma semântica declarativa probabilística clara com muitas das vantagens organizacionais da orientação a objeto, permitindo que objetos representem variáveis aleatórias ou conjuntos das mesmas. Esta abordagem é semelhante à nossa; entretanto, ela permite apenas instanciar objetos estáticos, e ela não apresenta uma forma de lidar com situações que evoluem com o tempo. A nossa abordagem não tem estas limitações.

Existem ainda algumas abordagens que estendem a capacidade de representação das redes bayesianas através do uso de lógica. A lógica de escolha independente (Poole, 1995), os programas lógicos bayesianos (Kersting & De Raedt, 2001) e a programação em lógica probabilística (Ng & Subrahmanian, 1992) são algumas destas abordagens. Por exemplo, os programas lógicos bayesianos apresentam uma generalização de redes bayesianas que estabelece um mapeamento um pra um entre os átomos e variáveis aleatórias. Embora esta abordagem aparente ter bons resultados, acreditamos que o fato dela ser baseada em Prolog e não em uma linguagem orientada a objeto possa dificultar a sua utilização na indústria de entretenimento.

## 4.6 CONCLUSÕES

Neste capítulo foi apresentada a nossa abordagem para os problemas de *definição de parâmetros* e *criação do modelo* do FutSim. Na definição de parâmetros, decidimos por fazer uma *abstração de alto nível*, simplificando tanto os aspectos de futebol quanto os

aspectos administrativo-financeiros, mas se esforçando para manter a *plausibilidade* do modelo.

Na parte de criação do modelo, era de nosso interesse utilizar redes bayesianas para representação de conhecimento, por todos os motivos descritos no Capítulo 3. Porém, eram necessárias algumas modificações para permitir que elas pudessem ser utilizadas para simulação. Para resolver este problema, nós propusemos os conceitos de *entidade* e de *evento*.

As entidades representam todas as estruturas do mundo. Este conceito foi o utilizado por nós para agrupar as variáveis aleatórias utilizadas pelas redes bayesianas em estruturas e relacionamentos que representassem noções significativas no nosso modelo. Diversas entidades do FutSim foram descritas.

Já os eventos são acontecimentos através dos quais a passagem do tempo afeta ao sistema. Os diversos tipos possíveis de eventos foram discutidos, mostrando como estes foram combinados com as entidades para criar o nosso modelo do mundo de administração de futebol. Existem eventos de *usuário*, *programados* e *propagados*. Os eventos de usuário e alguns programados simplesmente causam alterações no estado de algumas entidades. Já alguns outros programados e todos os propagados têm resultados não-determinísticos, e o seu resultado é modelado através de redes bayesianas.

E finalmente, na última parte deste capítulo, foi feita uma breve discussão de alguns trabalhos relacionados à nossa abordagem. No próximo capítulo iremos discutir os próximos três passos da metodologia que nós propusemos para o desenvolvimento de simulações de sistemas complexos para fins de entretenimento: *construção do simulador*, *testes com usuários reais* e *ajustes de parâmetros*.

## 5 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo, além de descrever como a abordagem discutida na Seção 4 foi implementada, apresenta os resultados deste trabalho e uma discussão sobre os últimos três passos envolvidos na simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento descritos na Seção 2.2, a saber: construção do simulador, teste com usuários reais e ajuste de parâmetros.

Um resultado macro desta fase do trabalho foi o desenvolvimento e implementação de um modelo e de um simulador para o FutSim, e a conseqüente solução de seu problema de Inteligência Artificial. A solução de um problema do mundo real, que resultou no desenvolvimento de um produto comercial, é sem dúvida um fato importante. Além deste resultado, houve outros individuais que vieram tanto de suas duas fases de testes com usuários assim como da experiência obtida com a sua implementação. Estes resultados são descritos neste capítulo.

### 5.1 CONSTRUÇÃO DO SIMULADOR

Nesta seção, primeiramente são discutidas as decisões gerais sobre a implementação do FutSim, e depois a implementação específica da parte de Inteligência Artificial do jogo, o *motor de IA*, é detalhada.

#### 5.1.1 O FutSim

Existem hoje diversas ferramentas prontas que permitem a simulação de mundos artificiais em software. Contudo, as características de infinitude e interatividade das simulações para fins de entretenimento descartam o uso de ferramentas de simulação como o SWARM (Mínar et al, 1996). Este tipo de ferramenta geralmente permite apenas a simulação em lotes, sem intervenção do usuário, de um número determinado *a priori* de execuções. Além disso, elas geralmente são utilizadas para fazer simulações do tipo de vida artificial (conjuntos de regras simples gerando comportamentos complexos). Portanto, para simulações de entretenimento é necessária a construção de toda a infra-estrutura de software requerida. Na verdade, para algumas tarefas mais genéricas, como armazenamento de dados, podem-se usar ferramentas de software específicas. Fizemos usos de diversas

destas ferramentas no FutSim; o seu uso será discutido durante esta seção. A Figura 5-1 exibe a infra-estrutura de software utilizada na implementação do FutSim.

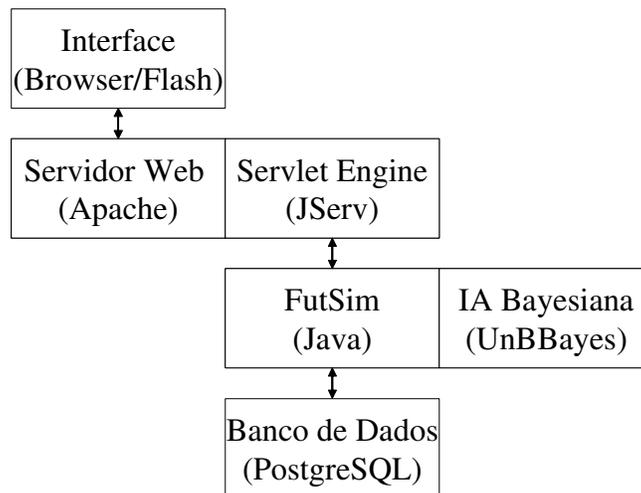


Figura 5-1 – Infra-estrutura de Software do FutSim

Dentre as linguagens de programação orientadas a objeto disponíveis para esta tarefa, podem ser destacadas duas. A primeira, C++ (Schildt, 1998), é atualmente a linguagem padrão da indústria para o desenvolvimento de jogos. Já a linguagem Java (Sun Microsystems, 2002) é a linguagem mais utilizada hoje para se desenvolver aplicações de servidores online, visto que ela apresenta uma enorme biblioteca de funções para desenvolver aplicações escaláveis de alto desempenho em rede. Em jogos, o desempenho é determinante: portanto, no caso da implementação do FutSim, que é basicamente um servidor online, a escolha de Java é natural.

O FutSim foi implementado como um *Web system*, ou seja, um sistema de arquitetura cliente-servidor que utiliza requisições e respostas http para fazer a comunicação entre estes. A arquitetura de software utilizada na implementação do FutSim é composta de quatro camadas, que podem ser vistas na Figura 5-2 (Pedrosa et al, 2002).



Figura 5-2 – Camadas da Arquitetura do FutSim

Neste tipo de sistema, a *Interface* geralmente é desenvolvida em um conjunto de páginas HTML que são preenchidas com dados dinamicamente para visualização em um *browser*. Esta abordagem tem alguns pontos bons, tais como a possibilidade de se melhorar o cliente sem que o usuário tenha que atualizar a sua versão localmente (já que tudo é sempre acessado direto do servidor) e a facilidade de não se ter que instalar um programa a mais no computador do usuário. Entretanto, ela é extremamente limitada na sua capacidade de interação, o que diminui o apelo do jogo, e conseqüentemente, a sua base de usuários. Na maioria dos jogos online, é desenvolvido um cliente em C++ para acessar o servidor, permitindo um alto nível de interação; entretanto, esta abordagem envolve fazer o *download* e a instalação de um cliente, o que também diminui a possível base de usuários. Além disso, qualquer modificação na versão do cliente tem que ser aplicada a todos os clientes individuais nas máquinas de cada usuário.

No FutSim, escolhemos desenvolver a interface em *Flash 5* (Macromedia, 2002). O Flash propicia um potencial de interação e uma qualidade de apresentação mais próxima de um cliente em C++ mantendo a dinamicidade e quase os mesmos requisitos do cliente em HTML: há apenas a necessidade da instalação do *plugin* do Flash 5 no browser. Além disso, a interface vai sendo transferida para o usuário à medida que ele a vê, eliminando os possíveis problemas de versionamento. O Flash, como toda ferramenta comercial, apresenta o problema de que as suas capacidades são limitadas pelo seu conjunto de funcionalidades; ou seja, a adição de novas funcionalidades ao produto é uma decisão da empresa que o desenvolve. Entretanto, acreditamos que as funcionalidades que o Flash 5 provê são suficientes para esta primeira versão do FutSim.

Na camada de *Comunicação*, implementada utilizando J2SE 1.3 (Sun Microsystems, 2002) estão os *servlets* que cuidam da formatação dos dados do sistema antes de sua exibição ao usuário final. Esta comunicação, como dito anteriormente, é feita através do protocolo HTTP. A saída do sistema é transformada pelos *servlets* em uma mensagem antes de ser enviada. Esta mensagem é então interpretada e exibida dinamicamente pelo Flash. É utilizado um servidor web, o Apache v1.3.26 (Apache, 2002), para prover a comunicação http, enquanto o Tomcat v3.3.1 (Jakarta, 2002) é utilizado para prover o suporte a *servlets*.

A camada de *Negócio* é onde a lógica do sistema é desenvolvida. É formada por cadastros e classes básicas. Os cadastros são um conjunto de entidades de um mesmo tipo (cadastro de jogadores, cadastro de usuários, etc), enquanto as classes básicas são as entidades em si, com as suas funcionalidades. Todas as entidades e eventos foram modelados como objetos Java. Cada uma das entidades do FutSim foi implementada com o uso de objetos. Um diagrama de classes mostrando como algumas destas entidades foram implementadas pode ser visto na Figura 5-3.

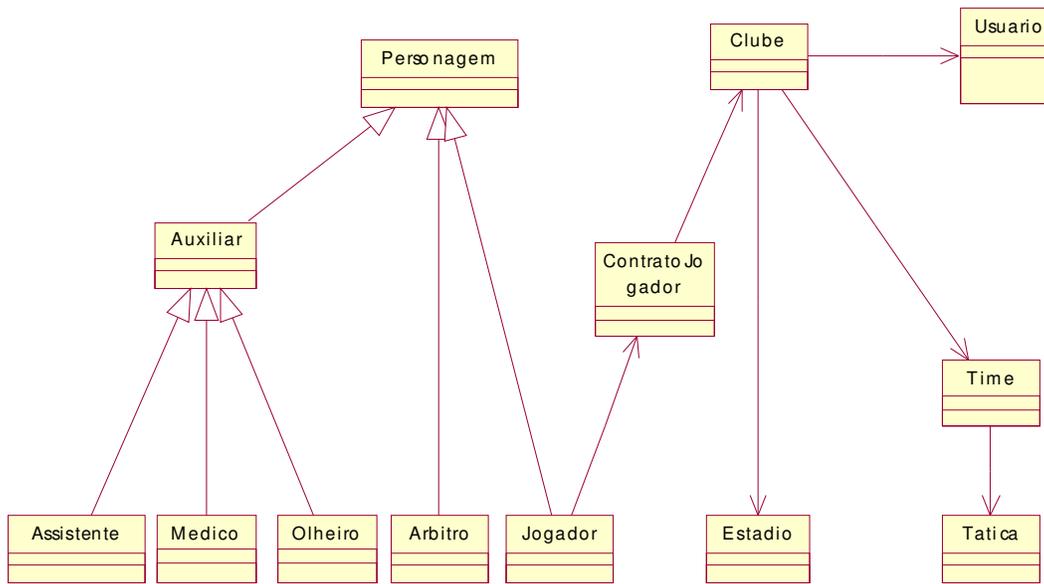


Figura 5-3 – Entidades do FutSim

Os eventos também foram implementados através de objetos. Um diagrama de classes mostrando os eventos do FutSim podem ser vistos na Figura 5-4.

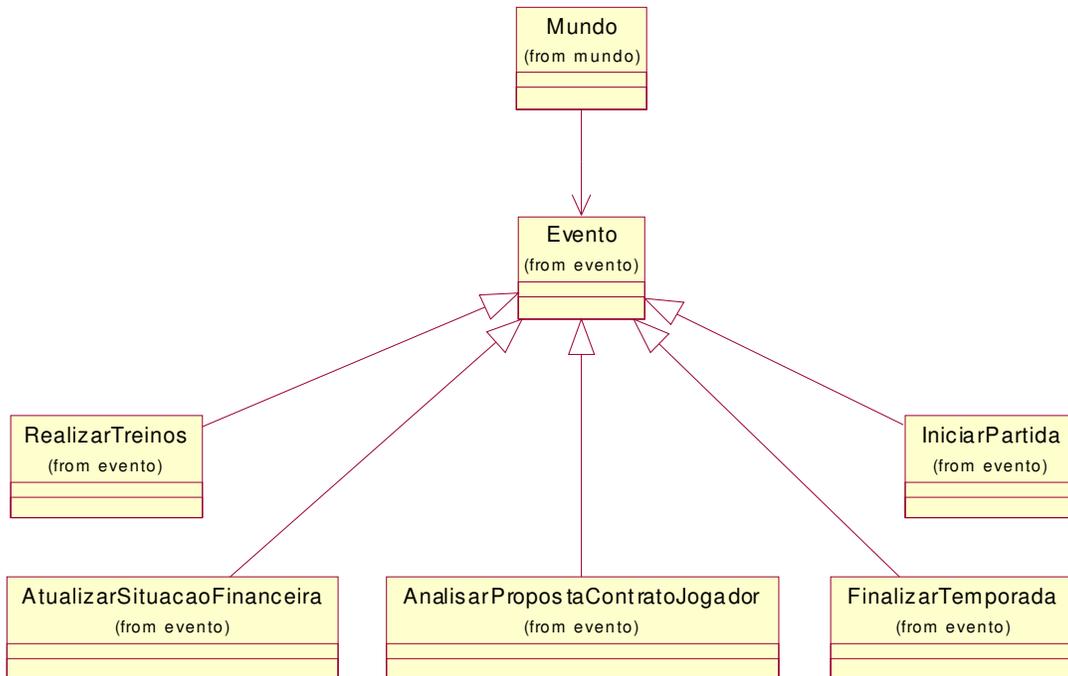


Figura 5-4 – Eventos do FutSim

Cada evento do FutSim tem um momento para acontecer, composto de uma data e hora. O controle dos eventos é feito pelo *Mundo* onde aqueles eventos vão ocorrer através de um *escalonador*. Este escalonador na verdade é uma *thread* que, ao acordar, executa todos os eventos cujas datas de execução estão no passado, os remove para evitar execução em duplicidade, e volta a dormir. O escalonador é acordado a cada quatro minutos; este tempo foi escolhido arbitrariamente para possibilitar que hajam eventos sendo simulados com uma certa frequência sem sobrecarregar o servidor. Para ilustrar, vamos verificar como funciona o evento *Efetuar Treinamento*.

Tudo começa com o Mundo sendo acordado pelo escalonador. Ele vai então executar, entre outros, o evento *EfetuarTreinamento*, que vai calcular o efeito de todos os treinamentos que devem ser feitos naquele momento. Este evento pede ao *CadastroTreinamento* o conjunto de Sessões de treinamento que devem ser executados. Depois, ele pede para cada entidade *SessaoTreinamento* pegar todos os jogadores e assistentes envolvidos e executar o método *treinar*, que calcula os efeitos dos treinamentos, utilizando a parte de inferência bayesiana. A Figura 5-5 mostra o diagrama de seqüências do fluxo de funcionamento deste evento.

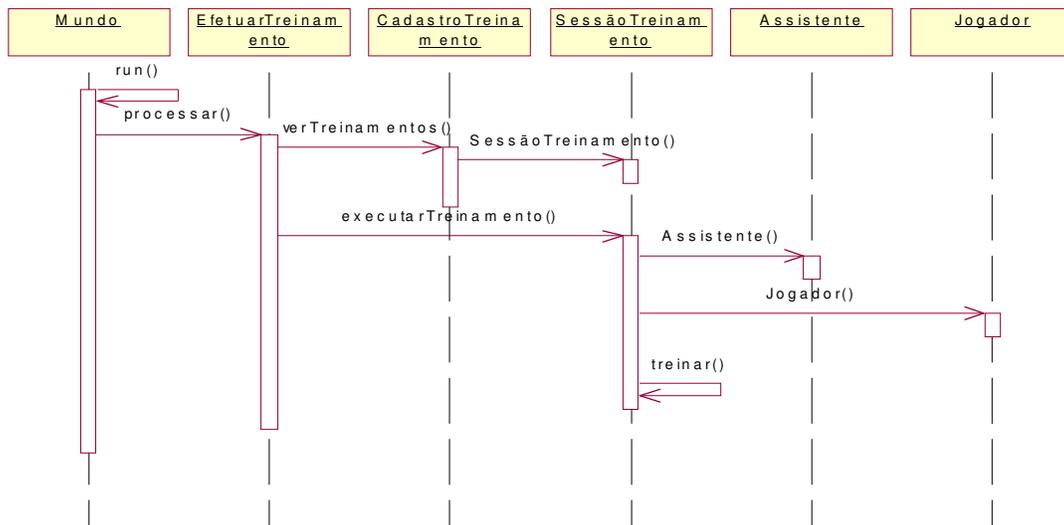


Figura 5-5 – Diagrama de Sequências do Evento *Efetuar Treinamento*

Finalmente, a Figura 5-6 exibe as entidades envolvidas com um outro evento do FutSim, o *AtualizarContusaoJogador*.

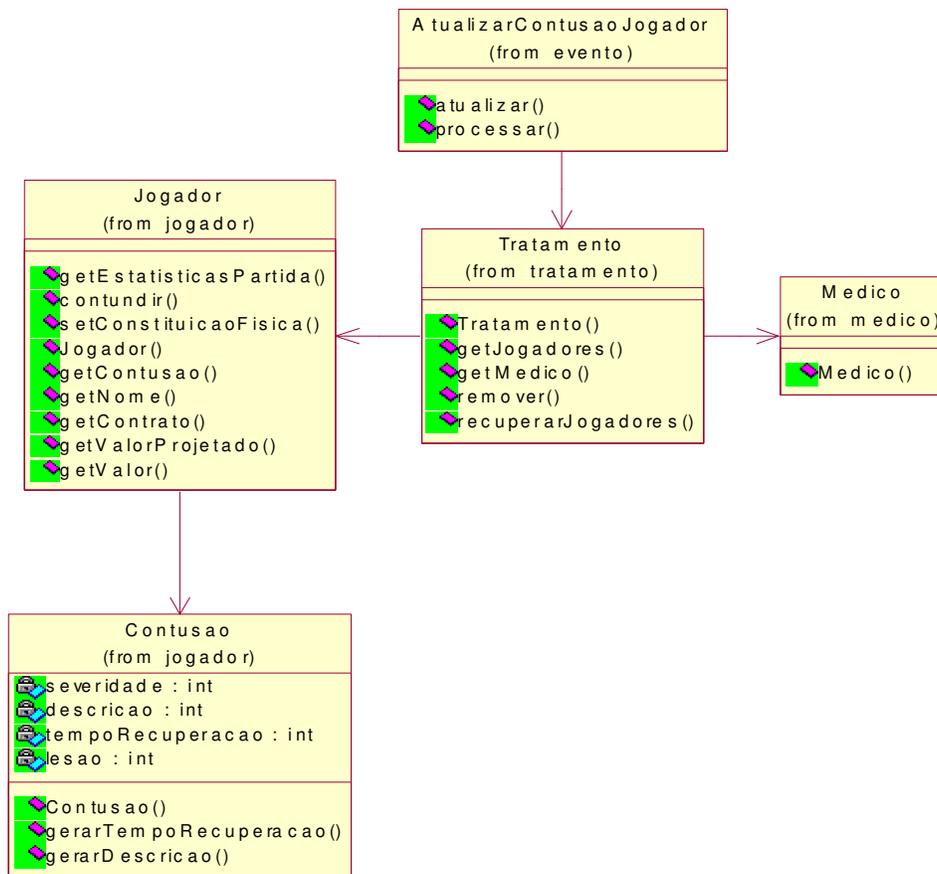


Figura 5-6 – Classes de Eventos e Entidades do FutSim

A parte de inferência de redes bayesianas também fica na camada de negócio, e foi implementada integrando o FutSim com uma API bayesiana para Java. Os detalhes desta integração estão descritos na Seção 5.1.2. Quando iniciamos o desenvolvimento, havia apenas uma API destas disponível, a JavaBayes (JavaBayes, 2002). Ela foi utilizada no começo, mas não foi obtido sucesso na tentativa de utilizá-la para os propósitos de API para efetuar atualização de crença. Este problema foi identificado e investigado apenas após a primeira fase de testes com os usuários, motivado pela aparente aleatoriedade no comportamento do sistema (ver Seção 5.2.1). Felizmente para nós, mais tarde apareceu a API UnBBayes (Ladeira et al, 2001). Esta ferramenta, também desenvolvida em Java, está sendo constantemente melhorada e está disponível gratuitamente para uso (UnBBayes, 2002).

A camada de *Dados* é composta pelos repositórios e suas interfaces. Esta camada é a responsável por fazer a comunicação com o meio de armazenamento. O Sistema Gerenciador de Banco de Dados utilizado para armazenar as informações foi o PostgreSQL 7.2 (PostgreSQL, 2002). Esta escolha foi feita de forma pragmática por ele suportar acesso via JDBC e por ser o mais poderoso dos SGBDs cujo uso é grátis.

### *5.1.2 A Integração da Ferramenta Bayesiana*

Durante o tempo de implementação, várias tentativas diferentes foram feitas para integrar a API bayesiana com o FutSim. Com o passar do tempo, a nossa experiência com esta API e com o próprio comportamento do FutSim foi aumentando, e esta abordagem foi evoluindo até chegar no ponto atual.

A nossa primeira abordagem para a integração da API foi a de, a cada vez que era necessária se utilizar uma atualização de crença, se chamava uma única função que recebia como parâmetros o nome da rede a ser utilizada e um vetor de observações. O que este procedimento fazia era carregar a rede na memória, observar os nós de entrada, fazer uma atualização de crença e selecionar o estado a ser retornado para aplicação. Toda a lógica de como se utilizava cada rede específica estava dentro desta função. O tempo médio de simulação de uma partida (um dos eventos mais complexos) era em torno de sete minutos e meio.

A nossa segunda tentativa tentou resolver duas ineficiências. A primeira era advinda do fato de que, a cada nova inferência, era necessário se ler as redes bayesianas dos

arquivos e carregá-las na memória. Já a segunda vinha do fato de que, em algumas situações nas quais a mesma rede era utilizada para um conjunto de entidades, nós fazíamos todo o carregamento das informações que iam ser observadas e todo o armazenamento dos resultados escolhidos de maneira seqüencial; ou seja, nós carregávamos uma informação do banco de dados, processávamos esta, e guardávamos ela de volta no banco. Com o carregamento prévio das redes em memória e a otimização da ordem de carregamento e armazenamento das informações (como por exemplo, colocando as informações necessárias na mesma tabela no banco de dados ao invés de montando a informação com dados de diversas tabelas), o tempo de processamento necessário diminuiu sensivelmente, para cerca de um minuto e meio.

Em seguida, como nós não alteramos as probabilidades das redes durante a execução do sistema, pensamos em diminuir o número necessário de redes na memória instanciando apenas um objeto para cada rede, e permitindo que todos os métodos se utilizassem destes objetos. Entretanto, para que isto não gerasse problemas de concorrência, era necessário que estes objetos só pudessem ser acessados por uma *thread* a cada momento. Isto acabou gerando um gargalo com a disponibilidade destes objetos para manipulação.

Atualmente, para melhorar esta situação, cada *thread* cria os seus próprios objetos sob demanda, mas apenas um para cada rede. Assim, conseguimos um ganho em tarefas repetidas sem enfrentar problemas de concorrência. Hoje, a simulação da partida dura por volta de 50 segundos. Um gráfico mostrando esta evolução de desempenho pode ser visto na Figura 5-7. Além disso, hoje a parte da Inteligência Artificial está implementada de forma distribuída no sistema, e não em uma única função, diminuindo a complexidade de manutenção desta.

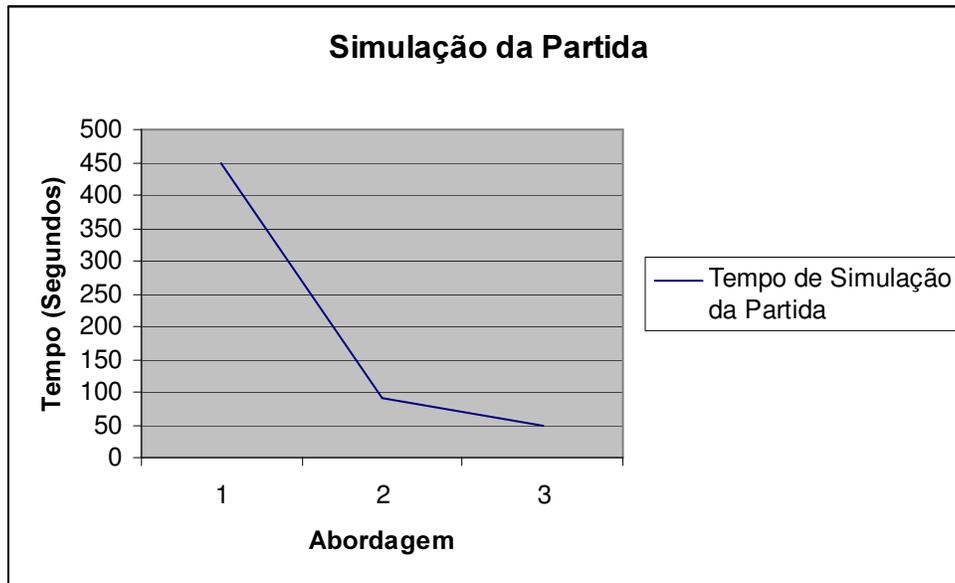


Figura 5-7 – Evolução do Tempo Necessário para a Simulação de uma Partida

Por exemplo, a classe *Jogador*, que representa esta personagem do FutSim, tem métodos como *reacaoTreinamento*, que, como precisam de não-determinismo, fazem uso da API bayesiana. Este método usa a rede *ReacaoSessaoTreinamento* descrita na Seção 4.2. O que este método faz é carregar a rede na memória, observar os nós de entrada, fazer uma atualização de crença e selecionar o estado a ser aplicado no atributo do jogador. A Figura 5-8 ilustra este processo de integração da API, e o código Java para este método descrito acima pode ser visto na Tabela 5-1.

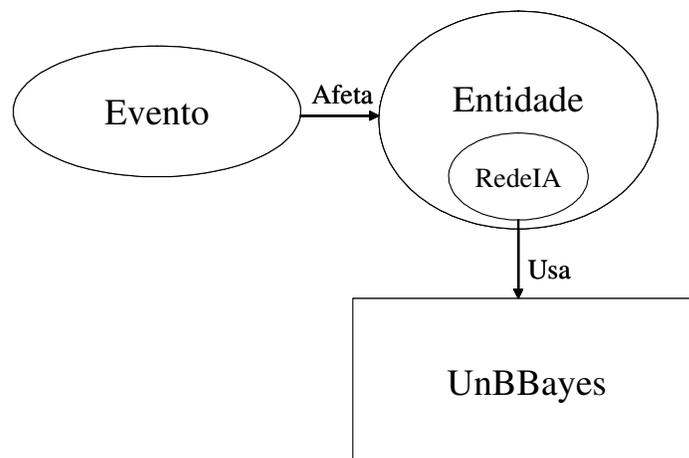


Figura 5-8 – Integração do FutSim com a API UnBBayes

```

/**
 * Método que processa a reação do jogador ao treinamento.
 *
 * @param atributoJogador Atributo relevante do Jogador
 * @param atributoAssistente Atributo relevante do Assistente
 * @return efeitoAtributoJogador Efeito no atributo do Jogador
 */
public String reacaoSessaoTreinamento(int atributoRelevante,
                                       String atributoJogador,
                                       String atributoAssistente) {

    // Declaração de variáveis.
    IRedeIA redeIA;
    // Recupera a rede de IA.
    redeIA = CadastroRedeIA.getInstancia().
        criarRedeIA(IRedeIA.REDE_REACAO_SESSAO_TREINAMENTO);
    if atributoRelevante = CHUTE {
        this.getIntervaloAtributo(this.getChuteJogador());
    }
    redeIA.observe("atributoJogador", atributoRelevante);
    redeIA.observe("atributoAssistente", atributoAssistente);
    return redeIA.calcularEstado("efeitoAtributoJogador");
}

```

Tabela 5-1 – Código do Método *reacaoSessaoTreinamento*

No que diz respeito à engenharia de redes, no início as redes eram enormes e difíceis de criar, mas com a aplicação de mais e mais técnicas de engenharia, como *divórcio* (Jensen, 2001), as mesmas foram ficando cada vez mais simples. Por exemplo, a simples alteração de arquitetura da rede à esquerda na Figura 5-9 para a rede que está na direita, através da introdução de dois nós intermediários, diminui o número de distribuições de probabilidade que tinham que ser definidas de 108 para 30.

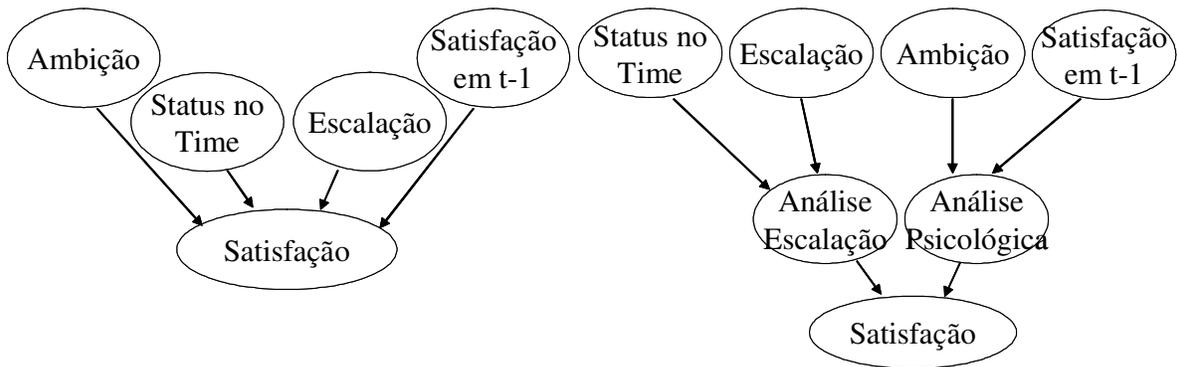


Figura 5-9 – Mudanças na Arquitetura das Redes

No início, o tempo médio de criação de uma rede estava por volta de quatro horas, e uma única rede (Avaliação de Contrato pelo Jogador) consumiu quase quarenta horas. Atualmente, utilizando as técnicas de engenharia, com uma maior familiaridade com as

ferramentas e com a modelagem em si, e com um reuso de algumas distribuições de probabilidade, elas levam em média meia hora, com os piores casos levando cerca de quatro horas. O número de redes individuais aumentou, já que três ou quatro redes simples substituem uma rede complicada, mas mesmo com o maior número de redes, ainda há grande vantagem (duas horas atuais contra quatro horas antigamente). Um gráfico mostrando esta evolução de desempenho pode ser visto na Figura 5-10.

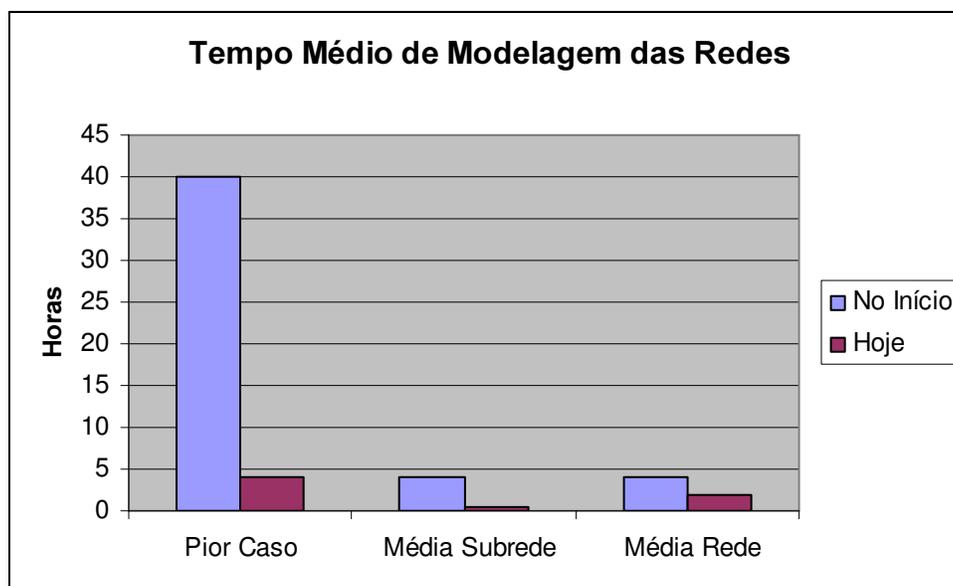


Figura 5-10 – Evolução no Tempo de Modelagem das Redes

## 5.2 TESTES COM USUÁRIOS REAIS E AJUSTES DE PARÂMETROS

Existem várias formas de se obter *feedback* dos usuários. É importante indicar que, ao contrário de outras aplicações, os jogos sofrem do problema de *excesso de feedback*. Como eles evocam paixões e geralmente não tem um parâmetro fixo para avaliação que dê a última palavra, é natural que todas as pessoas se sintam no direito de opinar sobre o que deveria estar ou não na simulação.

Fulton (2002) define alguns critérios para avaliar um sistema de *feedback*: *representatividade*, *hora de chegada*, *granularidade*, e *facilidade de aquisição*. Ainda segundo Fulton, apenas a representatividade é realmente crítica.

Primeiramente, o *feedback* deve representar de maneira precisa a opinião do público-alvo do jogo. Como falamos anteriormente, todos estão dispostos a prover *feedback*, mas é crucial que se faça um esforço para manter este *feedback* relevante.

*Feedback* incorreto é pior do que nenhum *feedback*, assim como uma sinalização errada na estrada é pior do que a total ausência de sinalização.

Segundo, o *feedback* deve chegar na mão dos desenvolvedores em um momento no qual ainda seja possível se efetuar as alterações necessárias recomendadas após a sua avaliação. Não adianta de nada se obter um *feedback* perfeito, se não há a possibilidade de utilizá-lo.

Terceiro, é importante que o *feedback* seja adquirido numa granularidade tal que possibilite aos desenvolvedores agirem sobre ele. Comentários nebulosos como “as pessoas não gostam de telas desarrumadas” devem ser evitados, e comentários mais claros e específicos como “as telas 1 e 2 estão desarrumadas, já 3 e 4 estão bem organizadas” devem ser estimulados.

E finalmente, o *feedback* deve ser de fácil aquisição. Falando pragmaticamente, os desenvolvedores não irão atrás dele se ele for muito difícil ou caro. Ele deve ter um custo condizente com os seus benefícios.

Existem diversas maneiras de se adquirir este *feedback* (Fulton, 2002). Ele pode vir do próprio *time de desenvolvimento*, de *especialistas* em jogos, de *conhecidos*, de *testes beta* e de *grupos de foco*. A primeira consiste das opiniões do *time* que está desenvolvendo o jogo. A segunda vem de outros desenvolvedores, consultores ou jornalistas especializados. A abordagem através de conhecidos envolve expor o jogo para os amigos e família. Os testes beta podem ser definidos como o passo de execução do sistema com usuários reais antes da finalização do produto com o objetivo de coletar opiniões preliminares. Os grupos de foco, abordagem muito utilizada na área de marketing, envolvem juntar grupos pequenos de pessoas, geralmente pagos, em uma sala para discutir o jogo.

Embora as duas primeiras abordagens para aquisição de *feedback* (*time de desenvolvimento*, *especialistas*) sejam boas nos três últimos critérios de qualidade (hora de chegada, granularidade, facilidade de aquisição), elas geralmente não conseguem garantir o mais importante: a representatividade. As pessoas que fazem parte do próprio *time de desenvolvimento* e as que estão acostumadas a lidar com diversos tipos de jogos no seu dia-a-dia nem sempre representam fielmente o seu público-alvo. Portanto, embora o *feedback* destes seja importante, ele deve ser levado em conta com esta precaução em mente. As

outras três abordagens (conhecidos, testes beta, grupos de foco) apresentam um alto potencial de qualidade de *feedback*, mas em compensação exigem um trabalho muito maior.

Nós utilizamos no FutSim a abordagem de teste beta porque ela é um ótimo meio termo: nem tão influenciada quanto a de conhecidos e nem tão cara quanto a de grupos de foco. Além disso, ela pode chegar a um bom nível de representatividade, se a escolha dos usuários for bem-feita. Nesta fase, um determinado número destes usuários testam o sistema para descobrir tanto problemas de funcionamento (*bugs*) como problemas da qualidade do modelo e da simulação. Estes últimos são os que geram modificações na modelagem.

Na fase de ajuste, as modificações identificadas após a coleta de *feedback* devem ser feitas até que se esteja satisfeito com a qualidade da mesma, ou até que esteja na hora de lançar o produto. Esta fase depende totalmente da forma como foi implementado o modelo e do volume de modificações que se deseja fazer.

No nosso caso, estes ajustes se traduzem em alterações nos objetos que representam o modelo e na arquitetura e probabilidades das redes bayesianas que determinam como o modelo deve evoluir no tempo. No nosso caso, embora tenhamos feito duas fases de testes, não tivemos a oportunidade ainda de incluir este *feedback* nos nossos ajustes. Isto será feito no futuro. Isto poderá causar tanto ajustes na estrutura do modelo (entidades, eventos) quanto nos detalhes de algumas estruturas (alteração de atributos em entidades, e dos efeitos de eventos)

### *5.2.1 Primeira Fase de Testes*

A primeira fase de testes aconteceu durante 20 dias do mês de outubro de 2001. Nesta fase, 180 usuários representativos do público-alvo que estávamos querendo atingir foram convidados a participar de uma temporada do jogo. As entidades implementadas no jogo foram:

- ***Mundos;***
- ***Ligas;***
- ***Clubes;***
- ***Situação Financeira;***

- *Negociações;*
- *Táticas;*
- *Treinamento;*
- *Partidas;*
- *Rankings.*

Além das entidades listadas acima, o jogo possuía um *Fórum*, um Chat e um *Sistema de Mensagens Interno* para incentivar a socialização entre os usuários e permitir que os mesmos pudessem conversar sobre o jogo e fazer negociações. Para reportar as suas opiniões, os usuários faziam uso, além das ferramentas citadas, do envio de mensagens eletrônicas normais para o time de desenvolvimento.

Os usuários foram divididos em três mundos, cada um com sessenta clubes. Estes times foram organizados em uma liga, com três divisões de vinte clubes cada. As partidas ocorriam duas vezes por dia.

Uma primeira versão de um questionário de avaliação, baseado nos questionários de avaliação de credibilidade utilizados por Reilly para a avaliação da credibilidade de atores sintéticos (Reilly, 1996), foi desenvolvido por nós para uniformizar o feedback sobre a implementação da modelagem e da forma de simulação. Este questionário foi enviado aos 180 usuários que participaram da primeira fase de testes, e respondido por 29 deles. Uma reprodução do questionário utilizado está disponível no Anexo B. A média de idade dos participantes era em torno de 26 anos, e na média eles eram mais especialistas em futebol (4,82, de 1 a 7) do que em jogos de administração (3,79, de 1 a 7).

A tabela 5-2 sumariza alguns dos resultados obtidos no questionário. As tabelas completas, que apresentam todos os resultados obtidos, podem ser encontradas no Anexo C. A princípio podemos verificar que o modelo escolhido foi bem avaliado pelos usuários que participaram do teste. Apenas a abstração feita nas estruturas teve uma nota próxima de regular. Já a credibilidade de comportamento do sistema não foi tão bem avaliada, ficando em volta do eixo médio. Um número significativo de usuários (quase 76%) sentiu que este comportamento era mais aleatório do que errado.

Critério	Resultado
Nota para adequação da escolha das estruturas do mundo	5,41 (Média, entre 1 e 7)
Nota para adequação da abstração feita destas estruturas	4,41 (Média, entre 1 e 7)
Nota para adequação da escolha dos personagens	5,41 (Média, entre 1 e 7)
Nota para adequação da abstração feita destas personagens	5,13 (Média, entre 1 e 7)
Nota para credibilidade das personagens	3,82 (Média, entre 1 e 7)
Nota para credibilidade das partidas	4,10 (Média, entre 1 e 7)
O Comportamento parece aleatório ou errado?	Aleatório (76,00%)
Você sente que tem impacto no jogo?	Sim (68,97%)

Tabela 5-2 – Resultados da Primeira Fase de Testes

A aleatoriedade pode ser explicada principalmente pelo problema que tivemos ao utilizar a ferramenta de inferência bayesiana (JavaBayes). Embora a ferramenta funcione perfeitamente sozinha, nós não conseguimos, talvez por falta de documentação, utilizá-la como API corretamente. Ao invés de atualizar as crenças como era nosso objetivo, a ferramenta simplesmente mantinha as saídas da rede fixas. Como consequência, as ações do usuário não faziam diferença; as probabilidades posteriores eram sempre as mesmas. No caso, o conjunto de probabilidades selecionado era o primeiro definido na rede, e na nossa modelagem o primeiro sempre levava em consideração os piores valores para a variável de acordo com a finalidade específica daquela rede. Como resultado, as saídas da rede não eram corretas, causando um comportamento errático por parte do sistema.

Um bom número de usuários (perto de 69%) sentiu que, apesar de tudo, as suas ações tinham impacto no jogo. Ou seja, as ações deles realmente faziam diferença. Um exemplo extremo disso são algumas reclamações que citavam o fato de que se muitas alterações fossem feitas no clube, havia uma grande chance dele ter um desempenho ruim. Como o usuário está sempre em busca de uma razão lógica por trás de tudo, isto era atribuído a um forte efeito do entrosamento, exemplificado pela máxima do futebol “em time que ganha não se mexe”. Entretanto, acreditamos que a razão para isto foi que quanto mais o usuário alterasse o seu time, maior a aleatoriedade introduzida; e como citado acima, os valores utilizados eram sempre os do “pior caso”. Portanto, a situação do time ia ficando cada vez pior.

Um fator que sem dúvida foi responsável pela impressão de comportamento errado das personagens é a presença dos atributos escondidos. O comportamento das personagens em diversas situações é determinado por estas características; portanto, como elas não são aparentes, é possível que os usuários julguem que o comportamento do personagem não faz sentido, quando na verdade este está seguindo corretamente uma agenda própria.

### 5.2.2 Segunda Fase de Testes

O problema que enfrentamos com o JavaBayes nos motivou a fazer uma segunda sessão de testes para verificar quais problemas ocorridos eram por causa de nossa abordagem, e quais foram erros introduzidos por esta ferramenta externa. Infelizmente, não conseguimos juntar o mesmo grupo inicial de 180 usuários, mas conseguimos reunir 60 usuários dentre os que tinham participado da primeira fase de testes. Durante 20 dias do mês de janeiro, eles jogaram o FutSim e avaliaram o efeito da troca da ferramenta bayesiana por uma que era mais adequada para utilização como API. A única mudança feita na implementação desta segunda versão de testes foi a implantação do UnBBayes; todas as entidades e eventos da modelagem utilizados na primeira versão foram mantidos. Nesta segunda fase de testes, utilizamos o mesmo questionário no anexo B, retirando as perguntas abertas. Um grupo de 14 usuários respondeu a este segundo questionário. Nesta segunda fase, a média de idade foi também em volta de 26 anos, mas os usuários eram mais acostumados tanto com jogos de administração (4,14, de 1 a 7) quanto com futebol (4,92, de 1 a 7). A Tabela 5-3 apresenta alguns resultados obtidos. A tabela completa pode ser encontrada no Anexo D.

Critério	Resultado
Nota para adequação da escolha das estruturas do mundo	5,57 (Média, entre 1 e 7)
Nota para adequação da abstração feita destas estruturas	4,85 (Média, entre 1 e 7)
Nota para adequação da escolha dos personagens	5,5 (Média, entre 1 e 7)
Nota para adequação da abstração feita destas personagens	5,14 (Média, entre 1 e 7)
Nota para credibilidade das personagens	5,35 (Média, entre 1 e 7)
Nota para credibilidade das partidas	4,42 (Média, entre 1 e 7)
O Comportamento parece aleatório ou errado?	Aleatório (21,43%)
Você sente que tem impacto no jogo?	Sim (78,57%)

Tabela 5-3 – Resultados da Segunda Fase de Testes

Os resultados das quatro primeiras perguntas apresentaram pequenas melhoras, quase não se alterando. Uma não modificação nas opiniões era esperada, já que a modelagem em si não foi alterada. Esta pequena flutuação pode ser atribuída ao fato de termos alterado o grupo de testadores.

Os dois itens que questionavam sobre a credibilidade da simulação tiveram aumentos significativos. Embora isto também possa sofrer influência da alteração do grupo de testadores, acreditamos que isto se deveu sobretudo ao fato de que a propagação de evidência estava sendo feita de acordo como planejado. O fato que certamente fortalece o nosso argumento é a grande queda na porcentagem de usuários que julgaram a simulação como aleatória: de 76% para pouco mais de 21%. Houve um aumento razoável (quase 10%) também na quantidade de usuários que sentiam que tinham impacto no jogo. Acreditamos que isto tenha se dado primariamente por que a simulação estava sendo feita de forma correta, embora talvez este fato por si só não fosse suficiente para um aumento deste porte.

### *5.3 CONCLUSÕES*

Este capítulo descreveu a implementação da abordagem discutida na Seção 4, assim como uma discussão sobre os últimos três passos envolvidos na simulação de sistemas complexos para fins de entretenimento descritos na Seção 2.2, a saber: construção do simulador, teste com usuários reais e ajuste de parâmetros. Apresentamos as considerações gerais sobre os dois primeiros pontos, já que não tivemos tempo de desenvolver o terceiro, e apresentamos as nossas decisões.

Na fase de construção do simulador, foi verificado que não é possível se utilizar as ferramentas usuais de simulação, por causa das características de infinitude e interatividade das simulações para fins de entretenimento. Decidimos usar objetos Java para implementar as entidades e os eventos, utilizando as redes bayesianas para calcular o efeito de eventos não-determinísticos. Exibimos então a nossa abordagem de implementação, detalhando algumas entidades e alguns eventos. Em seguida, voltamos a nossa atenção para a integração da ferramenta bayesiana ao nosso sistema, incluindo a evolução de nossa experiência com o seu uso.

Na fase de teste com usuários reais, foram discutidos quais as melhores maneiras de se coletar o *feedback* dos mesmos. Decidimos por fazer uso de testes beta, e conseqüentemente organizamos duas rodadas deste tipo de teste no FutSim com usuários reais. Os resultados destes testes foram apresentados, e verificamos que a nossa abordagem teve uma boa receptividade pelos usuários. É importante notar que a primeira fase de testes foi crucial para identificar um problema na ferramenta bayesiana que usávamos então, o que gerou uma alteração na infra-estrutura de software do sistema.

## 6 CONCLUSÕES

Os nossos objetivos com este trabalho foram dois: primeiramente, resolver o problema de simulação do FutSim, que envolvia principalmente a parte de criação do modelo e de um motor de Inteligência Artificial que fizesse este modelo evoluir. E segundo, a partir desta experiência adquirida, abstrair uma metodologia genérica que pode ser utilizada para proporcionar uma maior formalização do processo de desenvolvimento de simulações de sistemas complexos para fins de entretenimento. Para este fim, foi feita uma ampla pesquisa em todas as áreas nas quais este trabalho tocava: sistemas complexos, jogos eletrônicos, futebol, representação e raciocínio sobre conhecimento incerto.

Um conjunto de tarefas foi proposto, que envolve desde a fase inicial do processo de desenvolvimento até a fase anterior a de testes com usuários reais. Uma ênfase maior foi dada a duas destas fases, as de definição de padrões e criação do modelo, por elas serem cruciais no processo. Esta metodologia foi utilizada no desenvolvimento da parte de Inteligência Artificial do FutSim, um produto comercial com lançamento previsto em diversos mercados para o final de 2002. O uso desta metodologia, que apresenta um certo grau de generalidade para outras simulações deste tipo, pode ajudar na formalização do processo de desenvolvimento deste tipo de simulação, ajudando a garantir assim a sua correteude.

Um resultado interessante foi a boa aceitação dos usuários pelo modelo escolhido para a implementação do FutSim, tanto pela seleção das estruturas quanto pela abstração utilizada para modelá-las. Um outro ponto a favor do modelo foi o de que várias características pedidas pelo usuário estão previstas no desenvolvimento futuro, e só não foram incluídas por falta de tempo.

Dois trabalhos sobre outros aspectos do FutSim foram aceitos durante o ano de 2002 no I Workshop Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (Pedrosa et al, 2002) (Valadares et al, 2002a). A parte de IA do FutSim, centro deste trabalho, também foi aceita no workshop acima (Valadares et al, 2002c), além de ter sido aceita no I Workshop de Teses e Dissertações (Valadares & Ramalho, 2002) e no *I Workshop on Agents in Computer Games* (Valadares et al, 2002b), parte da *3rd International Conference on Computer Games and AI*.

## 6.1 CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho algumas contribuições principais, tanto na área de entretenimento quanto na de Inteligência Artificial.

Na área de entretenimento, este trabalho introduz para a comunidade de desenvolvimento de jogos uma alternativa ao uso de regras para tratamento de incerteza. Como discutido anteriormente, o uso de regras para incerteza deve ser feito com cuidado ou não feito de maneira alguma. Atualmente, há grandes chances de que ele esteja sendo feito de maneira incorreta, ocasionando custos escondidos para os desenvolvedores. Por outro lado, o uso de redes bayesianas é totalmente factível, já que elas são claras, permitindo a sua implementação por pessoas não técnicas, e computacionalmente rápidas. O bom uso desta metodologia também ajuda a explicitar a lógica por trás da simulação, facilitando o desenvolvimento e a comunicação de idéias entre desenvolvedores. Além disso, este trabalho apresenta diretrizes metodológicas que podem ser utilizadas para melhorar a qualidade do desenvolvimento de simulações complexas para fins de entretenimento.

Na área de Inteligência Artificial, este trabalho apresentou uma forma inovadora de combinar conceitos de entidade, relacionamento, probabilidade e tempo para simulação, através do uso de objetos e redes bayesianas. Para resolver este problema, foram criados por nós os conceitos de entidade e de evento, que possibilitam o agrupamento de variáveis aleatórias em estruturas que tenham representam entidades e relacionamentos significativos, e armazenam os estados intermediários da simulação, permitindo que ela avance. Nesta abordagem, todas as estruturas relevantes do domínio foram modeladas como objetos, e todos os acontecimentos determinísticos como regras. Já os acontecimentos que tinham conseqüências não-determinísticas foram modelados através de redes bayesianas.

## 6.2 TRABALHOS FUTUROS

O primeiro passo após a conclusão deste trabalho será a finalização de uma nova versão do sistema, com alguns ajustes no modelo e nas probabilidades, de acordo com o *feedback* dos usuários. Nestes ajustes, serão buscadas melhoras tanto na abstração das estruturas quanto da simulação em si. Logo após será organizada uma última rodada de testes e,

conseqüentemente, de aquisição de *feedback* e ajustes de modelo e simulação, antes do FutSim entrar no ar comercialmente.

Aproximadamente 70% dos usuários se sentiram no controle da simulação; embora este valor seja razoável para um sistema complexo como o FutSim, este também é um possível ponto de melhoria. Outra modificação provavelmente será feita no nível de abstração da partida. Este provavelmente irá um pouco mais na direção da abstração utilizada na RoboCup, principalmente por causa da necessidade de gerar estatísticas mais precisas da mesma, como quais dos jogadores envolvidos fizeram os gols, como foi o desempenho individual de cada jogador na partida, quem recebeu cartões amarelos e vermelhos, etc.

Um outro trabalho futuro é melhorar e complementar a forma de avaliação do sistema. Os questionários iniciais foram bons pontos de partida, e agora podem ser melhorados com a experiência de sua utilização. Além disso, é possível se complementar esta informação qualitativa com uma informação quantitativa: o teste estatístico de algumas hipóteses, como por exemplo verificar se no FutSim as partidas entre times rivais são mais equilibradas em relação a partidas de times de níveis semelhantes que não envolvem nenhuma rivalidade. Também poderiam ser executadas simulações para se acumular resultados das ligas (como número de gols, de vitórias, etc) para comparação com as estatísticas das ligas reais.

A partir da experiência com a implementação da parte de Inteligência Artificial do FutSim, vamos tentar abstrair um *framework* genérico e reusável para a nossa abordagem para utilização de redes bayesianas junto com objetos. Este *framework* poderia ajudar a todos que estivessem interessados a desenvolver aplicações que envolvessem conhecimento incerto.

Temos o sentimento de que, para conseguir atingir escala, precisamos melhorar o desempenho da inferência bayesiana. Uma possibilidade é a conversão, quando possível, das redes para redes bayesianas ingênuas (Langley et al, 1992), a fim de melhorar o desempenho da inferência. Além disso, durante a nossa implementação, verificamos que não chegamos a utilizar todo o potencial da ferramenta UnBBayes. Temos dois caminhos a seguir. Primeiro, vamos avaliar o que podemos usar a mais para melhorar o nosso sistema.

E segundo, vamos avaliar se o uso da API inteira realmente é necessário; talvez o custo de se utilizar um pacote reusável seja muito alto para os nossos requisitos.

Um possível trabalho futuro é a criação de algoritmos que tentem, a partir de algumas recomendações, definir as distribuições de probabilidade. Isto pode ser interessante para poupar tempo na fase de especificação das probabilidades, principalmente quando estas probabilidades não estão disponíveis, ou quando se está especificando um sistema fictício. Por exemplo, o engenheiro de conhecimento apenas colocaria alguns parâmetros como “faça uma distribuição equilibrada” ou “faça uma distribuição que diminua o valor desta variável linearmente na medida em que esta outra for diminuindo”, e estes algoritmos criariam uma distribuição que poderia ser ajustada depois manualmente. Isto possibilitaria, por exemplo, a criação mais rápida de redes cujas distribuições fossem semelhantes a regras simples, além de possibilitar uma melhor exploração do espaço de probabilidades.

E finalmente, um outro trabalho futuro é o uso de análise de sensibilidade (Laskey, 1995) para melhorar a qualidade das saídas das redes.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, E (1999). *Designing and Developing Sports Games*. Disponível online. URL: [http://www.gamasutra.com/features/designers\\_notebook/19990924.htm](http://www.gamasutra.com/features/designers_notebook/19990924.htm). Última visita em 1/4/2001.
- Amant, R. S. & Young, R. M. (2001). Artificial Intelligence and Interactive Entertainment. In *Intelligence Magazine*. 12(2):17-19.
- Andersen, S. K., Olesen, K. G., Kristian, G., Jensen, F. V. & Jensen, F. (1989). HUGIN: A Shell for Building Belief Universes for Expert Systems. In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI*, 11. Detroit: AAAI Press. v2, p. 1080-1085.
- Andreassen, V., Jensen, F. V., Andersen, S. K., Falck, B., Kjaerulff, U., Woldbye, M., Sorensen, A., Rosenfalck, A. & Jensen, F. (1989). MUNIN: An Expert EMG Assistant. In *Computer-Aided Electromyography and Expert Systems*. J. E. Desmedt (ed.). Amsterdam: Elsevier Science, p. 255-277.
- Apache (2002). *The Apache Software Foundation Website*. Disponível online. URL: <http://www.apache.org>. Última visita em 1/4/2001.
- Au, W. J. (2002). *Showdown in cyberspace: Star Wars vs. The Sims*. Disponível online. URL: <http://www.salon.com/tech/feature/2002/07/09/mmorpg/index.html>. Última visita 9/7/2002.
- Audas, R.; Dobson, S. & Goddard, J. (2002). The Impact of Managerial Change on Team Performance in Professional Sports. In *Journal of Economics and Business, Volume 55*. Elsevier Science. (forthcoming).
- Axelrod, R. (1997). Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. In *Simulating Social Phenomena*. Conte, R; Hegselmann, R & Terna, P. (eds.). Berling: Springer, p. 21-40.

- Bangsø, O. & Wuillemin, P. (2000). Top-down Construction and Repetitive Structures Representation in Bayesian Networks. In *Proceedings of the Thirteenth International FLAIRS Conference*, Florida.
- Bates, Joseph (1991). Virtual Reality, Art and Entertainment. In *The Journal of Teleoperators and Virtual Environment*. Boston: MIT Press.
- Bittencourt, G. (2001). *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*. Editora da UFSC, Segunda Edição.
- Booch, G. (1994) *Object-Oriented Analysis and Design*. 2<sup>nd</sup> Edition. Redwood City, CA: Benjamin Cummings.
- Buntine, W. (1991). Theory Refinement on Bayesian Networks. In *Proceedings of the 7th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, p. 52-60.
- Casti, J. L. (1997). *Would-be Worlds: How Simulations Are Changing the Frontiers of Science*. John Wiley and Sons.
- Cheng, J.; Bell, D.; & Liu, W. (1998). Learning Bayesian Networks from Data: an Efficient Approach Based on Information Theory. Disponível online. URL: <http://www.cs.ualberta.ca/~jcheng/Doc/report98.ps.gz>. Última visita em 3/7/2001.
- Cochrane, N. (2002). *Playing for Keeps and a Dinkum Lara Croft*. Disponível online. URL: <http://www.theage.com.au/articles/2002/05/17/1021544074404.html>. Última visita 2/6/2002.
- Cooper, G. and Herskovitzs, E. (1992). A Bayesian Method for the Induction of Probabilistic Networks from Data. In *Machine Learning*, n.9, p. 309-347.
- Crawford, C. (1982). *The Art of Computer Game Design*. Disponível online. URL: <http://www.vancouver.wsu.edu/fac/peabody/game-book/Coverpage.html>. Última visita em 1/6/2001.
- Dawson, P. & Dobson, S. (2001). Managerial Efficiency and Human Capital: An Application to English Association Football. In *Proceedings of the 13th EALE Conference*, Finland.
- Dean, T. & Kanazawa, K (1988). Probabilistic Temporal Reasoning. In *Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-88)*. St. Paul, p. 524-528.

- Deloitte & Touche (2000). *English Football Revenues Set to Double*. Disponível online. URL: <http://www.deloitte.com/vc/0,1029,sid=1018&cid=2934,00.html>. Última visita em 1/4/2001.
- EA (2002). *The Sims Website*. Disponível online. URL: <http://thesims.ea.com>. Última visita em 1/4/2002.
- EA (2002). *Fifa Soccer Website*. Disponível online. URL: <http://fifa.ea.com>. Última visita em 1/4/2002.
- Elgood, C. (1996). *Using Management Games*. Gower Press.
- Epstein, J. (1998) *Games: The Window into Technology's Future*. Palestra apresentada no congresso Infonordeste'98. Recife.
- FIFA (1999). *FIFA and U.N. heads meet in New York*. Disponível online. URL: <http://www.fifa2.com/scripts/runisa.dll?M2:gp:609926:67173+mrel/display+6543+E>. Última visita em 5/7/2001.
- FIFA Soccer Manager Online (2001). *FIFA Soccer Manager Online Website*. Disponível online. URL: <http://www.soccerygaming.com/fsm>. Última visita em 5/7/2001.
- Fulton, Bill (2002). *GDC 2002: Beyond Psychological Theory: Getting Data that Improves Games*. Disponível online. URL: [http://www.gamasutra.com/gdc2002/features/fulton/fulton\\_01.htm](http://www.gamasutra.com/gdc2002/features/fulton/fulton_01.htm). Última visita em 1/4/2002.
- FutSim (2002). *FutSim Website*. Disponível online. URL: <http://futsim.com>. Última visita em 1/2/2002.
- Gamasutra (2002). *Video Game Sales to Top \$31 Billion in 2002*. Disponível online. URL: [http://www.gamasutra.com/php-bin/industry\\_news\\_display.php?story=1245](http://www.gamasutra.com/php-bin/industry_news_display.php?story=1245). Última visita em 1/7/2002.
- Gharajedaghi, J. (1999). *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity: A platform for designing Business Architecture*. Butterworth-Heinemann.
- Gilbert, N. & Troitzsch, K. G. (1999). *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press.

- Gorry, G. (1973). Computer-Assisted Clinical Decision Making. In *Methods of Information in Medicine*, n.12, p. 45-51.
- Gorry, G. & Barnett, G. (1968). Experience With a Model of Sequential Diagnosis. In *Computers and Biomedical Research*, v.1, p. 490-507.
- Hayes-Roth, F., Waterman, D., and Lenat, D. (eds.) (1983). *Building Expert Systems*. Addison-Wesley.
- Hope, C. (2002). *When Should You Sack the Manager? Results From a Simple Model Applied to the English Premiership*. Disponível online. URL: [http://www.jims.cam.ac.uk/people/faculty/pdfs/hope\\_when\\_sack\\_manager.pdf](http://www.jims.cam.ac.uk/people/faculty/pdfs/hope_when_sack_manager.pdf). Última visita em 1/4/2002.
- Horvitz, E. (2002). *Lumiere Project: Bayesian Reasoning for Automated Assistance*. Disponível online. URL: <http://research.microsoft.com/~horvitz/lum.htm>. Última visita em 7/11/2001.
- Howland, G. (1999). *The Focus of Gameplay*. Disponível online. URL: [http://www.lupinegames.com/articles/focus\\_gameplay.html](http://www.lupinegames.com/articles/focus_gameplay.html). Última visita em 14/5/2001.
- Jaeger, M. (1997). Relational Bayesian Networks. In *Proceedings of the 13th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, p. 266-273.
- Jakarta (2002). *The Jakarta Site – Apache Tomcat*. Disponível online. URL: <http://jakarta.apache.org/tomcat>. Última visita em 1/2/2002.
- JavaBayes (2002). *JavaBayes Website*. Disponível online. URL: <http://www-2.cs.cmu.edu/~javabayes>. Última visita em 1/2/2002.
- Jensen, F. V. (1995). Bayesian Networks Basics. In *AISB Quarterly, Newsletter of the Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour. Special Theme: Bayesian Belief Networks* [S.l.], v.94, p. 9-22, Springer.
- Jensen, F. V. (2001). *Bayesian Networks and Decision Graphs (Statistics for Engineering and Information Science)*. Springer-Verlag.

- Jensen, F. V., Lauritzen, S. L. & Olsen, K. G. (1990). Bayesian Updating in Causal Probabilistic Networks by Local Computations. In *Computational Statistics Quarterly*, Heidelberg, v.4, p. 269-282.
- Jensen, F. V., Olsen, K. G. & Andersen, S. K. (1990). An Algebra of Bayesian Belief Universes for Knowledge-Based Systems. In *Networks*, New York, v.20, p. 637-659.
- Jynx Playware (2002). *Jynx Playware Website*. Disponível online. URL: <http://www.jynx.com.br>. Última visita em 1/2/2002.
- Kersting, K. & De Readt, L. (2001). Bayesian Logic Programs. *Technical Report No. 151*. Institute for Computer Science, University of Freiburg, Germany, April 2001.
- Kjaelruff, U. A Computational Scheme for Reasoning in Dynamic Probabilistic Networks. In *Proceedings of the 8th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. San Francisco: Morgan Kauffman Publishers, p.121-129.
- Koller, D. & Pfeffer A. (1997). Object-Oriented Bayesian Networks. In *Proceedings of the 13th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, UAI97. Providence, p.302-313.
- Koller, D. & Pfeffer A. (1998). Probabilistic Frame-Based Systems. In *Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence - AAAI98*. Madison, p. 580-587.
- Ladeira, M., Venâncio, M. K. & Soares, A. M. M. (2001). Probabilistic Reasoning Based Intelligent Systems Development. In *Proceedings of the Congress of the Brazilian Computer Society, SBC2001*, 21. Fortaleza: SBC Press, 2001, v.3, p. 143-186.
- Langley, P., Iba, W., & Thompson, K. (1992). An analysis of Bayesian classifiers. In *Proceedings of the Tenth National Conference on Artificial Intelligence*. San Jose, CA: AAAI Press, p. 223-228.
- Laskey, K. B. (1995). Sensitivity Analysis for Probabilities Assessments in Bayesian Networks. In *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. V.25, p. 901-909.
- Laskey, K. B. & Mahoney, S.M. (1997). Network Fragments: Representing Knowledge for Constructing Probabilistic Models. In *Proceedings of the 13th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. GEIGER, D. & SHENOY, P. (eds.). San Francisco: Morgan Kauffman Publishers, p. 334-341.

- Lauritzen, S. L. & Spiegelhalter, D. J. (1988). Local Computations with Probabilities on Graphical Structures and their Application to Expert Systems (with discussion). In *Journal Royal Statistical Society*, [S.1.], Series B, v.50, n.2, p. 425-448.
- Lee, C. C. (1990). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – part I & II. In *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 20(2), p. 404-435.
- Macromedia (2002). *Macromedia – Flash MX Website*. Disponível online. URL: <http://www.macromedia.com/flash>. Última visita em 1/2/2002.
- Mahoney, S. M. & Laskey, K. B. (1996). Network Engineering for Complex Belief Networks. In *Proceedings of the 12th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, UAI96. Portland, p. 389-396.
- Microsoft (2002). *Microsoft Office Home Page*. Disponível online. URL: <http://www.microsoft.com/office>. Última visita em 7/11/2001.
- Minar, N.; Burkhart, R.; Langton, C. & Askenazi, M. (1996). *The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-Agent Simulations*. Disponível online. URL: <http://www.swarm.org/archive/overview.ps>. Última visita em 1/2/2001.
- MobyGames (1999). *MobyGames – Ultimate Soccer Manager*. Disponível online. URL: <http://www.mobygames.com/game/sheet/gameId,568/>. Última visita em 1/7/2001.
- Ng, R. & Subrahmanian, V. S. (1992). Probabilistic Logic Programming. In *Information and Computation*. 101(2):150-201.
- Noda, I. & Frank, I. (1998). Investigating the Complex with Virtual Soccer. In *Proceedings of the First International Conference on Virtual Worlds*, Springer-Verlag.
- Pearl, J. (1986). Fusion, Propagation, and Structuring in Belief Networks. In *Artificial Intelligence*. Amsterdam, v.29, p. 241-288.
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. University Press.
- Pedrosa, R. M.; Queiroz, A. E. M.; Valadares, J. L. F.; Carvalho, D. D. T.; Ribeiro, L. A. D. S.; Costa, L. G.; Valadares, R. G.; Neto, S. C. C. (2002) Uma arquitetura para jogos na Web com forte acoplamento entre entidades. In *Proceedings of the I Workshop on Games and Digital Entertainment*. Fortaleza. (forthcoming).

- Poole, D. (1995). Exploiting the Rule Structure for Decision Making within the Independent Choice Logic. In *Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Morgan Kauffman, pp. 454-463.
- PostgreSQL (2002). *PostgreSQL Website*. Disponível online. URL: <http://www.postgresql.org>. Última visita em 1/2/2002.
- Rasmussen, S. & Barrett, C. L. (1995). Elements of a Theory of Simulation. ECAL 95, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, p. 515-529.
- Reality Game (2002). *Reality Game Website*. Disponível online. URL: <http://www.reality-game.com>. Última visita em 1/2/2002.
- Reilly, W. S. (1996). *Believable Social and Emotional Agents*. Ph.D. Thesis. Technical Report CMU-CS-96-138, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.
- Rollings, A. & Morris, D. (2000). *Game Architecture and Design*. Coriolis.
- Ruch, F. L. (1941). *Psychology and Life: A Study of the Thinking, Feeling, and Doing of People*. New Edition; Scott, Foresman, Company, New York.
- Russell, S. & Norvig, P. (1995) *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Schildt, H. (1998). C++: The Complete Reference. 3rd Edition. Osborne McGraw Hill.
- Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press.
- Shortliffe, E. H. (1976). *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, London, New York.
- Shortliffe, E. H. & Buchanan, B. G. (1975). A Model of Inexact Reasoning in Medicine. In *Mathematical Biosciences*, 23 :351--379.
- Silveira, B. (1996). *Minidicionário da Língua Portuguesa*. São Paulo, FTD: LISA.
- Sports Interactive (2001). *Sports Interactive Website*. Disponível online. URL: [http://www.sigames.com/latestnews\\_sigames\\_oct01.shtml](http://www.sigames.com/latestnews_sigames_oct01.shtml). Última visita em 1/2/2002.
- Sports Interactive (2002). *Sports Interactive Website*. Disponível online. URL: <http://www.sigames.com>. Última visita em 1/2/2002.

- Stilman, B (1994). A Linguistic Geometry for Space Applications. In *Proceedings of the 1994 Goddard Conference on Space Applications of Artificial Intelligence*, pp. 87-101, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA.
- Sun Microsystems (2002). *The Java[tm] 2 Platform, Standard Edition v1.3*. Disponível online. URL: <http://java.sun.com/j2se/1.3>. Última visita em 1/2/2002.
- Turban, E. & Aronson, J. (1997). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice Hall Professional Technical Reference, older edition.
- UnBBayes (2002). *UnBBayes Website*. Disponível online. URL: <http://unbbayes.sourceforge.net>. Última visita em 1/2/2002.
- Valadares, J. L. F. & Ramalho, G. L. (2002). Simulação de Jogos de Gerenciamento Complexos com Redes Bayesianas: Estudo de Caso do FutSim. In *Anais do 1º Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial*. Porto de Galinhas. (forthcoming).
- Valadares, J. L. F.; Queiroz, A. E. M.; Araújo, A. L. M.; Mittelbach, A. F.; Carvalho, D. D. T.; Pereira, F. V.; Ribeiro, L. A. D. S.; Costa, L. G.; Cajueiro, L. E. C.; Valadares, R. G.; Pedrosa, R. M.; Costa Neto, S. C.; Nogueira Neto, C. M.; Costa Filho, I. G.; Leite, I. O. B.; Leal, J. H. F. (2002) *Building Massively Multiplayer Online Sports Management Games*. In *Proceedings of the 1st Brazilian Workshop on Games and Digital Entertainment*. Fortaleza. (forthcoming).
- Valadares, J. L. F.; Ramalho, G. L. & Ladeira, M. (2002). Modeling Complex Management Games with Bayesian Networks: The FutSim Case Study. In *Proceedings of the 1st Workshop on Artificial Intelligence and Computer Games*. Edmonton.
- Valadares, J. L. F.; Ramalho, G. L. & Ladeira, M. (2002). Modeling Complex Management Games with Bayesian Networks: The FutSim Case Study. In *Proceedings of the 1st Brazilian Workshop on Games and Digital Entertainment*. Fortaleza. (forthcoming).
- Woodcock, Steve (2002). Game AI: The State of the Industry 2002. In *Game Developer Magazine*, June 2002. CMP.
- Xiang, Y. (1996). A Probabilistic Framework for Co-operative Multi-Agent Distributed Interpretation and Optimization of Communication. In *Artificial Intelligence*, v.87, p. 295-342.
- Yorke, J. A., Aligood K. & Sauer, T. (1996). *Chaos: An Introduction to Dynamical Systems (Textbooks in Mathematical Sciences)*. Springer-Verlag.

Young, J. D.; Santos Jr., E. (1996). Introduction to Temporal Bayesian Networks. In *Proceedings of the Seventh Midwest AI and Cognitive Science Conference*. Bloomington.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. In *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353.

## Anexo A - QUESTIONÁRIO RESPONDIDO PELO ESPECIALISTA

Esta entrevista foi desenvolvida com o Sr. Adelson Wanderley, então Vice-Presidente de Futebol Profissional do Sport Club Recife, o clube com melhor estrutura no estado de Pernambuco. A entrevista, conduzida por Jeferson Valadares, ocorreu no dia 6 de julho de 2001. Ela é dividida em duas partes principais: hipóteses (como funciona o mundo de futebol) e características (o que compõe o mundo do futebol).

### *A.1 HIPÓTESES*

#### *A.1.1 Jogadores*

**Qual a influência dos fatores salário e preferência pelo clube na hora de um jogador escolher onde jogar?**

*“O amor ao clube não faz muita diferença. O principal é a estrutura que o clube proporciona (principalmente para jogadores mais velhos) e as competições que ele disputa (os jogadores são que nem artistas: precisam de atenção)”.*

**O quão comum é um jogador passar a sua carreira inteira dentro de um mesmo clube?**

*“É muito raro”.*

**Quantos jogadores idealmente um time deve ter em cada posição para jogar uma competição? E duas simultâneas?**

*“O ideal é não ter nem poucos nem muitos jogadores. Um grupo de uns 25 geralmente resolve. Três goleiros, dois jogadores pra cada posição, e uns dois ou três coringas. Você sempre tem uma indisponibilidade de mais ou menos 10% de seus jogadores devido a contusões e suspensões”.*

**Vale a pena manter um jogador boêmio no grupo se o desempenho dele em campo é bom?**

*“Depende da influência do comportamento do jogador no grupo. Se o grupo aceitar e o desempenho do jogador for bom, tudo bem. Mas se o grupo não aprovar este comportamento pode haver problemas”.*

**Quantos anos um jogador passa normalmente em um clube?**

*“No máximo uns cinco anos. Jogadores mais ambiciosos estão sempre procurando novos desafios, e os menos ambiciosos geralmente não servem para os propósitos do clube”.*

**A torcida influencia no desempenho de um atleta?**

*“Com certeza, e muito. Os jogadores que não sentem a pressão da torcida geralmente têm mais sucesso”.*

### **A.1.2      Competição**

**Considerando que todos os times são equilibrados, o que faz mais diferença (ter mais dinheiro, mais tradição)?**

*“Considerando que os times estão equilibrados, o mais importante é o equilíbrio emocional”.*

**A partir de quanto tempo após o investimento de muito dinheiro um time começa a ter boas chances de vencer uma competição?**

*“Se o dinheiro for bem investido, ele pode dar retorno muito rápido: dentro de um semestre”.*

**Um resultado bom no passado ajuda o time numa determinada posição?**

*“De maneira alguma. O futebol nisso é muito cruel”.*

### **A.1.3 Times**

#### **Um time só com jogadores novos é bom, ou precisa de experiência?**

*“Um time precisa ser balanceado, com jogadores de características diferentes. A heterogeneidade do grupo é essencial. Um time só de jogadores novos não resiste à pressão. Precisa de um jogador mais experiente pra chamar a responsabilidade”.*

#### **Qual o número máximo de jogadores “estrelas” que um time pode ter sem causar problemas?**

*“Três ou quatro, se elas se derem bem entre si. Mas às vezes duas já pode ser demais. Como dito anteriormente, um time não deve ser de jogadores iguais: só estrelas é tão ruim quanto sem estrelas.”*

#### **Quanto tempo um time montado precisa para se entrosar?**

*“Depende dos jogadores, e principalmente do comando do técnico. A capacidade de liderança de um técnico é mais importante que a sua capacidade técnica”.*

#### **Dar premiações pode criar uma “dependência” por parte dos jogadores?**

*“Os jogadores não jogam uma partida pensando no dinheiro que vão receber depois. O dinheiro é um a mais, e não um essencial. Dinheiro nenhum ganha certas partidas se não houver outra motivação. Além disso, as premiações estão mudando das partidas para objetivos. Assim é melhor para estimular os jogadores. Antes a renda da partida era dividida entre os times (60% vencedor, 50% em caso de empate) e os jogadores recebiam uma parte disso”.*

#### **Quando um time vence cinco partidas seguidas, a pressão aumenta sobre os jogadores, ou fica mais fácil para o time porque ele está embalado?**

*“Embala mais. Um conjunto de vitórias é um estímulo muito grande para um time. O maior perigo é uma possível acomodação”.*

**Quanto tempo um time leva para assimilar uma nova formação tática?**

*“Com um bom treinador (assim como pra se aprender deve se ter um bom professor), de três a quatro meses”.*

**A.1.4 Planejamento****Se você quer melhorar o seu time rapidamente, aonde você deve investir?**

*“Primeiramente num bom técnico. Depois em jogadores”.*

**Se você tem um plano para ter um bom time em longo prazo, onde é melhor investir o seu dinheiro (jogadores, divisões de base, centro de treinamento, estádio, etc)?**

*“Para um planejamento de longo prazo a prioridade deve ser colocada em uma boa estrutura. Deve se investir num bom Centro de Treinamento, e criar jogadores novos com calma, sem pressão de ter que colocá-los pra jogar logo”.*

**Como um time sem dinheiro pode se recuperar?**

*“A direção do clube deve ter paciência, e contratar um técnico para esta situação, que saiba perder. O time deve ser feito com uma mistura com jogadores baratos e formados no clube”.*

**Quanto é investido para a revelação de um craque?**

*“Depende da safra. No máximo uns quatro ou cinco de 30 sobem de categoria (infantil, juvenil, júnior e profissional) por ano. Geralmente se gasta uns 200 mil por ano com futebol amador. Considerando que uns dois jogadores são aproveitados no time principal, pode-se dizer que um jogador destes custa uns 100 mil. Entretanto, ele pode vir a não ser um craque”.*

**A.1.5 Técnicos****Qual a influência da demissão de um técnico para um time?**

*“Se o time estiver passando por um momento ruim, é bom para o time, que tem uma chance de recomeçar”.*

**Qual a influência da chegada de um novo técnico para um time?**

*“Muita. Como eles geralmente chegam com o time numa fase ruim, é bom para o time. Entretanto, se ele tiver que entrar em um time numa fase boa, é perigoso.”*

**Qual o tempo de permanência média de um técnico em um clube?**

*“No Brasil, uns seis meses. Varia muito, entretanto”.*

**Qual o grau de influência de um técnico em um time recém-formado?**

*“Muita”.*

**Qual o grau de influência de um técnico em um time que já joga junto há algum tempo?**

*“Menor do que a anterior, já que o time já tem uma maneira de jogar definida”.*

**A.2 CARACTERÍSTICAS****A.2.1 Jogadores****Qual o Salário Médio de um jogador?**

*“Depende do nível do clube. Na 1ª divisão brasileira, por exemplo, as médias seriam em torno de 15.000 para times pequenos, 25.000 para times médios e uns 50.000 para os grandes. A média engana bastante aqui, porque geralmente as estrelas ganham muito (cerca de 200.000) e os jogadores revelados no clube ganham pouco no início (menos de 10.000)”.*

**Quais são as cláusulas de contrato que comumente existem (Rebaixamento, Não-Promoção, Proposta Irrecusável, etc)?**

*“Quase sempre existe uma cláusula de aumento automático no salário (e conseqüentemente no valor do jogador) quando o mesmo é convocado para a seleção. Existem cláusulas com premiações diferenciadas para alguns jogadores (se o time ganhar esta competição ele leva uma quantia X). Os jogadores famosos também tem contratos de imagem, uma maneira de receber pelo fato do clube poder fazer propagandas com ele. As*

*cláusulas mais comuns na Europa (rebaixamento, não-promoção, etc) são inexistentes no Brasil”.*

**Qual a duração média do contrato?**

*“Os contratos no Brasil atualmente variam de três meses a cinco anos. A média para os jogadores que o clube quer manter ou acha que tem mercado para eles é de uns três anos”.*

**Quais os fatores que afetam o contentamento dos jogadores?**

*“Estrutura do clube, a parte financeira (se eles recebem em dia, etc), a convivência do grupo, o relacionamento com a torcida”.*

**Quais são as premiações geralmente associadas com jogadores individuais (mais de 10 gols no campeonato, etc)? Qual o valor médio destas?**

*“As premiações por artilharia geralmente não são usadas porque elas geralmente atrapalham o rendimento do time. Como dito anteriormente, as premiações estão deixando de ser por partida para ser por objetivos; a premiação por partida é de uns 20% a 30% do dinheiro que o clube ganha pela partida, dividida pelo número de jogadores. Os jogadores que jogam a partida levam tudo, e os reservas levam 50% deste valor”.*

**Qual a idade em que um jogador vira profissional?**

*“O jogador passa a ser profissional a partir dos 20 anos. Este fator define o sucesso do jogador. Quanto mais cedo ele perceber que aquilo lá é a sua profissão e não uma pelada, melhor para ele”.*

**A.2.2 Assistentes Técnicos**

**Qual o Salário Médio de um assistente técnico?**

*“Como os assistentes geralmente vêm com o técnico, o valor é dependente do salário do mesmo. Cerca de 20%. O resto do contrato é geralmente igual ao do técnico”.*

**Quais os fatores que afetam o contentamento dos assistentes técnicos?**

*“A estrutura que eles têm para trabalhar”.*

### **A.2.3 Preparadores Físicos**

#### **Qual o Salário Médio de um preparador físico?**

*“Uns 4.000 a 5.000. Os bons podem ganhar mais de 10.000”.*

#### **Qual a duração média do contrato?**

*“Geralmente eles são funcionários do clube”.*

#### **Quais os fatores que afetam o contentamento dos preparadores físicos?**

*“Estrutura”.*

### **A.2.4 Médicos**

#### **Qual o Salário Médio de um médico?**

*“A situação destes é semelhante à do preparador físico”.*

#### **Quais os fatores que afetam o contentamento dos médicos?**

*“Estrutura”.*

### **A.2.5 Psicólogos**

#### **Qual o Salário Médio de um psicólogo?**

*“Raramente o clube tem um psicólogo na folha. Eles são contratados caso a caso”.*

### **A.2.6 Olheiros**

#### **Qual o Salário Médio de um olheiro?**

*“Uns 500. Esta profissão é importantíssima para os clubes, mas é muito mal valorizada no Brasil”.*

#### **Qual a duração média do contrato?**

*“Geralmente se faz contratos curtos para experiência, e se o cara for bom você mantém ele”.*

### **A.2.7** *Sócios*

#### **Qual a influência dos sócios no clube?**

*“Os sócios são os torcedores que o clube deve ouvir”.*

#### **Que tipos diferentes de sócios existem?**

*“Depende do clube. Geralmente existem vários, para acomodar diferentes tipos de poder aquisitivo”.*

#### **Quanto eles pagam?**

*“De 25 a 50, depende das instalações do clube”.*

#### **Quais os fatores que afetam o número e o contentamento dos sócios?**

*“O desempenho do time. 90% dos sócios no Brasil se associam por causa do futebol”.*

#### **Qual o número de sócios (média) de um time de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> divisão nacional?**

*“O Sport tem 8 mil sócios, um número excelente para o Nordeste. O Flamengo tem cerca de 15 mil. No Brasil não se tem cultura de sócios, e sim de torcedores. Em alguns times de Portugal, por exemplo, você só pode dizer que torce pelo time se for sócio.”*

### **A.2.8** *Torcida*

#### **Quais os fatores que afetam o contentamento da torcida nos jogos?**

*“O Sport tem cerca de 600.000 torcedores na Região Metropolitana. O desempenho do time (tanto em partidas individuais quanto em competições) é o fator que mais afeta a torcida”.*

#### **Quais os fatores que afetam o comparecimento da torcida nos jogos?**

*“Vitórias e desempenho”.*

### **A.2.9** *Time*

#### **Quais os fatores extracampo que afetam o desempenho de um time (salários em dia, boa concentração antes, jogadores na mídia, clima ruim entre jogadores, etc)?**

*“Todos estes fatores citados afetam o desempenho dos jogadores”.*

**Quais os bônus geralmente associados ao time como um todo (prêmio por conquista de torneio, etc)? Qual o valor médio destes?**

*“Geralmente se tem pagamentos por partida e pagamentos por passagem de fase em uma competição. Os valores dependem da competição. Os campeonatos estaduais geralmente não pagam nada além da renda”.*

**Como funciona a rivalidade entre clubes? Até que ponto um clube modifica o seu comportamento natural por causa de uma rivalidade?**

*“Afeta muito. Um time rival, mesmo numa fase ruim, pode causar problemas para um time com um desempenho melhor”.*

**Até que ponto pesa a camisa de um clube?**

*“Muito. Certos resultados são conseguidos só pelo fato de ser aquele clube que está lá, mesmo que o time atual não seja bom”.*

#### *A.2.10 Técnico*

**Qual o salário médio de um técnico? Quais as cláusulas comumente envolvidas? Qual a duração média do contrato?**

*“Um técnico bom recebe uns 200.000. Outros recebem de 30.000 a 40.000. Existe sempre uma cláusula de rescisão, e os contratos geralmente são feitos até o fim da temporada”.*

**Quais as tarefas cabíveis a um técnico?**

*“Treinar o time e jogar partidas. Liderar o trabalho da comissão técnica. Representar os jogadores perante a diretoria”.*

**Até que ponto o conselho pode afetar o trabalho de um técnico?**

*“Só a diretoria se envolve no processo decisivo sobre transferências. Geralmente ela não afeta o trabalho do técnico”.*

### **A.2.11 Centro de Treinamento**

**Qual a influência de um Centro de Treinamento no desempenho dos jogadores?**

*“Muita. Um bom CT é indispensável”.*

**Vale a pena investir em um bom CT? Quanto seria o valor de um bom CT? Que elementos compõem um bom CT?**

*“Para se fazer um bom CT se gasta uns 500.000, fora o terreno. Ainda se tem que comprar equipamentos, e estes podem sair caros (só a parte da academia pode custar até estes 500.000). Um bom CT tem vários campos para treinamento, alojamentos, refeitórios, vestiários, salas de musculação, departamento médico, etc.”*

### **A.2.12 Estádio**

**Qual a influência de Estádio (próprio) no desempenho dos jogadores?**

*“Um estádio próprio afeta o orgulho da torcida, e portanto ajuda no desempenho dos jogadores”.*

**Vale a pena investir em um bom estádio? Quanto seria o valor de um bom estádio?**

**Qual a capacidade ideal? Qual a disposição (mais camarotes, etc)?**

*“Um bom estádio tem bons banheiros, bares e facilidade de deslocamento (ônibus, estacionamento). Camarotes são bons negócios para o clube, porque podem vir a ser uma renda fixa para o clube”.*

### **A.2.13 Sede Social**

**Qual a influência de uma Sede Social para o clube?**

*“Traz sócios extras para o clube”.*

**Vale a pena investir em uma boa Sede Social? Quanto seria o valor de uma boa Sede Social? Que elementos compõem uma boa Sede Social?**

*“Uma boa sede tem que ter alguns itens como uma boa piscina, várias quadras, um restaurante e um bar”.*

#### *A.2.14 Patrocínio*

**Como geralmente funcionam os contratos de patrocínio? Que cláusulas eles comumente apresentam? Qual o valor e tempo médio destes contratos?**

*“Os contratos geralmente são de um a dois anos. Os valores são muito diferentes, dependendo do clube e do patrocinador (exemplos, 100.000 e 800.000)”.*

#### *A.2.15 Propaganda*

**Como geralmente funcionam os contratos de prisms de publicidade? Que cláusulas eles comumente apresentam? Qual o valor e tempo médio destes contratos?**

*“Os contratos são anuais também. Os valores variam muito, dependendo das competições que o clube está participando, e se vai ter transmissão pela TV. Algumas competições trazem seus próprios prisms”.*

---

## Anexo B - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA UTILIZADO

=====  
Questionário de Avaliação  
=====

=====  
1. A adequação na escolha dos aspectos do mundo do futebol implementados no jogo (i.e., clube, treino, partida) para os propósitos do jogo é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====  
2. No geral, você acha que a adequação da simplificação feita nestes aspectos (i.e., abstração de todos os detalhes de um treinamento, etc) para os propósitos do jogo é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====  
3. A adequação da escolha dos personagens para os propósitos do jogo é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====  
4. No geral, você acha que a adequação da abstração feita nos personagens (i.e., a escolha dos atributos do jogador) para os propósitos do jogo é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====  
5. Na sua opinião, que aspecto do mundo do futebol não coberto no FutSim deveria ser implementado?

RESPOSTA:

=====  
6. A credibilidade do comportamento dos personagens é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====  
7. A credibilidade dos resultados das partidas é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====  
8. Na sua opinião, qual a parte do FutSim que se comporta de maneira mais sem sentido?

RESPOSTA:

=====  
9. E qual a mais real?

RESPOSTA:

=====  
10. Nas partes do sistema que apresentam comportamento estranho, este comportamento é mais aleatório (varia muito) ou ele é errado (sempre se comporta de alguma maneira da qual você discorda)? Responda Aleatório ou Errado.

RESPOSTA:

=====  
11. Você sente que tem impacto no jogo, ou você sente que os desenvolvimentos do mundo são independentes de suas ações? Responda Impacto ou Independente.

RESPOSTA:

=====  
Sobre você

=====  
1. Idade:

=====  
2. Ocupação (incluindo área, por exemplo, estudante de direito):

=====  
3. A experiência que você tem em jogos deste tipo é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====

4. A experiência que você tem com futebol é (De 1 a 7, 1 é Nenhuma e 7 é Muita):

RESPOSTA:

=====

**Anexo C - RESULTADOS DA PRIMEIRA FASE DE TESTES****Dados Sobre os Participantes da Pesquisa**

Idade Média	26,06 anos
Conhecimento Médio sobre Jogos de Gerenciamento de Futebol (1 a 7)	3,79
Conhecimento Médio sobre Futebol (1 a 7)	4,82
<b>Ocupação</b>	<b>Frequência</b>
Profissional de Computação	42,86%
Estudante de Computação	14,29%
Profissional de Administração	10,71%
Estudante de Exatas	7,14%
Estudante de Design	7,14%
Profissional de Design	7,14%
Profissional de Mídia	7,14%
Estudante do Ensino Médio	3,57%

Pergunta	1	2	3	4	6
<b>Entrevistado</b>					
1	5	4	6	5	4
2	5	3	6	5	4
3	5	5	4	6	2
4	5	5	4	4	3
5	5	4	5	6	5
6	4	3	6	6	3
7	5	4	6	7	2
8	6	5	3	6	5
9	6	6	6	5	4
10	6	4	5	2	4
11	4	2	7	1	5
12	7	5	6	6	6
13	6	5	5	6	4
14	5	4	7	4	4
15	5	3	5	6	2
16	6	5	5	4	5
17	6	3	5	2	2
18	5	3	7	2	5
19	4	4	3	7	5
20	4	5	5	6	2
21	6	4	6	4	3
22	7	3	2	7	4
23	5	5	6	7	5
24	6	5	6	6	5
25	5	5	6	6	5
26	5	7	7	6	4
27	7	6	6	6	4
28	6	5	6	7	2
29	6	6	6	4	3
30					
<b>Resultado</b>	5,4138	4,4138	5,4138	5,1379	3,8276

Pergunta	7	10aleat	10errado	11impacto	11indep
<b>Entrevistado</b>					
1	4	0	0	0	1
2	4	1	0	0	1
3	2	1	0	0	1
4	3	1	0	1	0
5	3	1	0	1	0
6	7	0	1	0	1
7	5	0	1	1	0
8	6	1	0	1	0
9	4	0	1	0	1
10	3	1	0	1	0
11	4	1	0	0	1
12	4	1	0	1	0
13	7	1	0	1	0
14	3	1	0	1	0
15	2	1	0	1	0
16	6	0	0	1	0
17	1	1	0	0	1
18	6	0	1	1	0
19	6	0	1	1	0
20	2	0	0	1	0
21	3	1	0	0	1
22	6	1	0	1	0
23	5	1	0	1	0
24	4	0	0	1	0
25	4	0	1	1	0
26	5	1	0	1	0
27	2	1	0	1	0
28	6	1	0	1	0
29	2	1	0	0	1
30					
<b>Resultado</b>	4,1034	aleatório= 76,00%		impacto= 68,97%	

## Anexo D - RESULTADOS DA SEGUNDA FASE DE TESTES

### Dados Sobre os Participantes da Pesquisa

Idade Média	26,57 anos
Conhecimento Médio sobre Jogos de Gerenciamento de Futebol (1 a 7)	4,14
Conhecimento Médio sobre Futebol (1 a 7)	4,92

Pergunta	1	2	3	4	6
<b>Entrevistado</b>					
1	5	5	6	5	5
2	5	6	5	6	5
3	4	4	5	5	4
4	6	5	4	5	6
5	7	6	6	6	6
6	5	5	6	5	7
7	4	4	5	5	5
8	6	3	5	4	5
9	7	5	7	5	5
10	5	5	7	5	7
11	6	5	5	5	6
12	6	5	4	4	3
13	5	5	6	6	5
14	7	5	6	6	6
15					
<b>Resultado</b>	5,571429	4,857143	5,5	5,142857	5,357143
<b>Pergunta</b>	<b>7</b>	<b>10aleat</b>	<b>10errado</b>	<b>11impacto</b>	<b>11indep</b>
<b>Entrevistado</b>					
1	5	0	1	1	0
2	4	1	0	0	1
3	5	0	1	1	0
4	3	0	1	1	0
5	4	0	1	1	0
6	4	1	0	0	1
7	5	0	1	1	0
8	4	0	1	0	1
9	5	0	1	1	0
10	7	0	1	1	0
11	4	0	1	1	0
12	3	1	0	1	0
13	5	0	1	1	0
14	4	0	1	1	0
15					
<b>Resultado</b>	4,428571	aleatório= 21,43%		impacto= 78,57%	