

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS-UNISINOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA INTERDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO

EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**Simulação de Grupos de Humanos
Virtuais utilizando Abordagens Micro e
Macroscópicas**

MARTA BECKER VILLAMIL

Dr^a. Soraia Raupp Musse

Co-orientação

Dr. Luiz Paulo Luna de Oliveira

Janeiro, 2003

Resumo

Este trabalho está inserido na área de animação comportamental, mais especificamente no que diz respeito a simulações de grupos de humanos virtuais sociais que interagem entre si. O modelo é composto por 3 fases distintas que visam a evolução social individual até o agrupamento de agentes, a aplicação de comportamentos de grupos competitivos e a visualização destes parâmetros de grupo alterando-se os movimentos individuais dos agentes, respectivamente fases 1, 2 e 3. Através da utilização de técnicas diversas como regras, recompensas e competitividade, os parâmetros dos indivíduos (estados, memória e percepção) e dos grupos (coesão, competitividade e crescimento) são caracterizados. São usados dois tipos de abordagem: micro e macroscópica. Os grupos são formados na abordagem microscópica, através de interações entre seus indivíduos e são representados através do conjunto de individualidades de seus integrantes. Na abordagem macroscópica, busca-se encontrar as individualidades baseadas nos parâmetros de grupo. Neste contexto, são apresentados resultados que descrevem os parâmetros de grupos e/ou de indivíduos emergentes em relação a um determinado tipo de população inicial.

Algumas hipóteses foram investigadas conforme explicitado no capítulo dos resultados. Dentre elas, questões como a importância da distribuição inicial da população e o impacto de populações de agentes *flexíveis* x *agentes não-flexíveis* (influenciados por outros x não influenciados) são exemplos de resultados discutidos neste trabalho. São analisados também os resultados referentes a um caso de estudo que representa uma situação de pânico, onde é modelada a influência de diferentes líderes e grupos que competem por um maior número de pessoas salvas na evacuação de um recinto.

A principal contribuição deste trabalho é o paradigma proposto que visa descrever um modelo que permita a geração de grupos a partir de indivíduos e vice-versa, cujas áreas de aplicabilidade vão desde simulações de populações do ponto de vista sociológico até a desafiadora área de jogos.

“If patterns of ones and zeros were like patterns of human lives and death, if everything about an individual could be represented in a computer record by a long string of ones and zeros, then what kind of creature would be represented by a long string of lives and deaths?”

Thomas Pynchon

Dedico ao Marcelo, amor da minha vida. Ao Victor, filho amado que sempre supera minhas expectativas. A memória de meu pai, com quem convivi apenas 15 anos, mas que valeram para que me transmitisse conceitos admiráveis: honestidade, perseverança, auto confiança e respeito ao próximo. Aos meus irmãos que são uma parte importante da minha vida. E finalmente a minha mãe que me transmite o que realmente importa: amor.

Agradecimentos

Os agradecimentos a seguir são para pessoas que trabalharam indiretamente na conclusão deste trabalho. Pessoas que, nestes dois últimos inesquecíveis anos passaram a possuir também uma parte de meu coração.

Ao Leandro Barros, muito obrigada... pelo tanto que me ajudou, pela maneira sempre atenciosa, divertida e educada de se relacionar e por estar sempre disposto a compartilhar. Obrigada sinceramente.

Aos colegas de mestrado, projeto e CGlab, agradeço pelos livros emprestados, pelas palavras de incentivo, pelas explicações, pela amizade. Um agradecimento especial à Adiléa, amiga que dividiu comigo todas as incertezas e inseguranças e sempre esteve disposta a me ajudar. À Flávia, minha grande amiga de boas risadas, que fez com que os meus dias ficassem mais leves. À Tati, minha colega e companheira de todas as horas (disciplinas, projeto, Sibigrapi, estudos, conversas.). Ao Tonietto, por me alcançar a mão em uma hora de grande desespero. Ao Sérgio, pelas tardes em torno das equações.

Agradeço a todos os professores que foram além de simplesmente expor a matéria em suas aulas. Estiveram comigo para solucionar dúvidas pendentes, procuraram explicações análogas com o intuito de clarear idéias e nos manter acordados, esticaram prazos de entrega de trabalhos e foram exemplos de bons professores a serem seguidos. Obrigada a todos. Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Luna, meu co-orientador. O meu primeiro professor de matemática que através de pacientes explicações tornou-a mais poética. Ao querido Prof. Marcelo Walter, que de forma gentil ministrou informalmente a minha primeira aula de computação gráfica mesmo sem eu estar ainda oficialmente inscrita no mestrado. À Prof^a Lídia, pelos esclarecimentos e pelas indicações de referências bibliográficas em relação à área de psicologia social.

Agradeço aos membros da banca por disporem de seu precioso tempo na leitura deste trabalho.

Por último, um agradecimento muito especial à minha orientadora Prof^a Soraia. Meu maior exemplo de professora: exigente, dedicada e humana. Muito obrigada pelo voto de confiança, pela paciência, pelas palavras de incentivo e pela maravilhosa orientação.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 INTRODUÇÃO	4
2.2 ANIMAÇÃO COMPORTAMENTAL	5
2.3 SISTEMAS COMPLEXOS E VIDA ARTIFICIAL.....	12
2.4 MODELOS CONTÍNUOS PARA INTERAÇÃO DE POPULAÇÕES	15
2.5 PSICOLOGIA E COMPORTAMENTO SOCIAL	18
2.6 CONTEXTO DESTE TRABALHO NO ESTADO DA ARTE	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 CONHECIMENTO, ESTADO E INTENÇÕES (<i>KSI</i>)	23
3.2 ABORDAGEM MICRO E MACROSCÓPICA	25
3.2.1. <i>Abordagem Microscópica</i>	25
3.2.2. <i>Abordagem Macroscópica</i>	26
3.3 FASES DO MODELO.....	27
3.3.1. <i>Fase 1: Aprendizado de comportamento social</i>	27
3.3.1.1. Os Agentes.....	28
3.3.1.2. Aprendizado Social.....	30
3.3.1.3. Os grupos	33
3.3.2. <i>Fase 2: Grupos Competitivos baseados em Equações de Dinâmica de Populações</i>	34
3.3.2.1. Adaptação dos coeficientes para o nosso modelo	34
3.3.2.2. Método Numérico para Solução das Equações Lotka-Volterra.	36
3.3.3. <i>Fase 3: Comportamento de Grupos</i>	36
3.3.3.1. Comportamentos visuais.....	37

3.3.3.2. KSI's Individuais	40
3.4 PROTÓTIPO	40
4 RESULTADOS	45
4.1 RESULTADOS RELATIVOS A FASE 1	45
4.1.1. <i>O Impacto de Agentes “Flexíveis” x “Não Flexíveis”</i>	46
4.1.2. <i>O Impacto da Distribuição da População Inicial</i>	47
4.1.3. <i>Emergência de Parâmetros de Multidão</i>	49
4.2 RESULTADOS RELATIVOS A FASE 2	50
4.2.2. <i>Estudo de Caso</i>	52
4.3 RESULTADOS RELATIVOS A FASE 3	58
5 CONCLUSÕES.....	61
6 BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA	64
7 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	70
ANEXO A CONVENÇÕES	71
ANEXO B ARQUIVO DE SAÍDA	73
ANEXO C ARQUIVO SCRIPT	74

Índice de Figuras

FIGURA 2.1. AGRUPAMENTO DE PÁSSAROS [REYNOLDS 1987].	6
FIGURA 2.2. ATORES SINTÉTICOS COM PERCEPÇÃO [NOSER 1996].	7
FIGURA 2.3. GRUPOS DE CICLISTAS E ROBÔS MÓVEIS SIMULADOS POR BROGAN AND HODGINS.	9
FIGURA 2.4. COMPORTAMENTOS CONCORRENTES E PARALELOS. FUMAR, LER JORNAL E TOMAR CAFÉ. [LAMARCHE E DONIKIAN, 2001].	11
FIGURA 2.5. O COMPORTAMENTO COLETIVO EMERGE DAS INTERAÇÕES ENTRE INDIVÍDUOS [LANGTON 1995]	13
FIGURA 2.6. NESTE CASO, ONDE $a_{12} < 1$ E $a_{21} < 1$, EXISTE UM PONTO DE EQUILÍBRIO ESTÁVEL A , QUE SIGNIFICA QUE AS DUAS ESPÉCIES COEXISTIRÃO E SEUS ESTADOS TENDEM PARA AS COORDENADAS DE A . A COMPETIÇÃO NESTE CASO NÃO É AGRESSIVA.	17
FIGURA 2.7. PARA O CASO ONDE $a_{12} > 1$ E $a_{21} > 1$ SÓ UMA ESPÉCIE SOBREVIVE, DEPENDENDO DO ESTADO INICIAL DO SISTEMA. DE FATO, SE O ESTADO INICIAL $(u_1(0), u_2(0))$ É ACIMA DA LINHA “SEPARATRIX”, A ESPÉCIE 2 IRÁ SE EXTINGUIR ENQUANTO, SE O ESTADO INICIAL FOR ABAIXO DA “SEPARATRIX”, A ESPÉCIE 1 IRÁ SE EXTINGUIR. NESTE CASO A COMPETIÇÃO É AGRESSIVA.	17
FIGURA 2.8. SE $a_{12} < 1$ E $a_{21} > 1$, A COMPETIÇÃO LEVA À EXTIÇÃO DA ESPÉCIE 2, INDEPENDENDO DO ESTADO INICIAL $(u_1(0), u_2(0))$. NESTE CASO A COMPETIÇÃO TAMBÉM É AGRESSIVA.	18
FIGURA 2.9. SE $a_{12} > 1$ E $a_{21} < 1$, O CONTRÁRIO DO CASO ANTERIOR ACONTECE; A COMPETIÇÃO LEVA A EXTIÇÃO DA ESPÉCIE 1, INDEPENDENTEMENTE DO ESTADO INICIAL $(u_1(0), u_2(0))$.	18
FIGURA 3.10. ABORDAGEM MICROSCÓPICA	26
FIGURA 3.11. ABORDAGEM MACROSCÓPICA.	27
FIGURA 3.12. REGIÃO DE PERCEPÇÃO P_i DE i -AGENTE.	30
FIGURA 3.13. INTERAÇÃO. OS DOIS AGENTES ESTÃO PERCEBENDO UM AO OUTRO.	31
FIGURA 3.14. GRUPO DE AGENTES. OS AGENTES AGRUPADOS ESTÃO SEGUINDO O LÍDER.	33
FIGURA 3.15. NESTE CASO OBSERVA-SE 2 PESSOAS INTERAGINDO DEMONSTRADO PELO SÍMBOLO DE INTERAÇÃO. UM PONTO DE ENCONTRO PODE SER IDENTIFICADO TANTO QUANTO UM GRUPO DE PESSOAS CONVERSANDO. DOIS TRABALHADORES E UM GRUPO DE TRÊS PESSOAS CAMINHANDO JUNTAS FORAM RECONHECIDOS.	37
FIGURA 3.16. OS AGENTES ESTÃO SEGUINDO O LÍDER DENTRO DE UMA DISTÂNCIA E ÂNGULO QUE CARACTERIZAM A COESÃO DO GRUPO.	38
FIGURA 3.17. GRUPO COM ALTA TAXA DE COESÃO (ESTÁTICOS). OS AGENTES CAMINHAM PERTO DO LÍDER E DOS OUTROS.	39
FIGURA 3.18. GRUPO COM MÉDIA TAXA DE COESÃO (TEMPORÁRIOS)	39

FIGURA 3.19. GRUPO COM BAIXA TAXA DE COESÃO (DINÂMICOS). OS AGENTES CAMINHAM DISTANTES UNOS DOS OUTROS.	40
FIGURA 3.20. VISUALIZADOR CATERVA	43
FIGURA 3.21. VISUALIZADOR RTKROWD.	43
FIGURA 3.22. SIMULADOR DE GRUPOS.	44
FIGURA 4.23. UMA POPULAÇÃO QUE MODIFICA SEUS ESTADOS EMOCIONAIS TENDE A TER OS VALORES DE COESÃO DE SEUS GRUPOS MAIORES.	46
FIGURA 4.24. UMA POPULAÇÃO QUE NÃO MODIFICA SEUS ESTADOS EMOCIONAIS TENDE A POSSUIR BAIXOS VALORES DE COESÃO PARA SEUS GRUPOS. NOTE QUE A ESCALA DA FIGURA 4.1 É DIFERENTE DESTA (12000 X 600).	47
FIGURA 4.25. DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM MÉDIA DE ESTADOS EMOCIONAIS=0.7 E DESVIO PADRÃO=0.1.	47
FIGURA 4.26. DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM MÉDIA DE ESTADOS EMOCIONAIS=0.7 E DESVIO PADRÃO=0.05.	48
FIGURA 4.27. DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA COM MÉDIA DE ESTADOS EMOCIONAIS=0.7 E DESVIO PADRÃO=0.01.	48
FIGURA 4.28. SIMULAÇÕES COM MÉDIA DE ESTADO EMOCIONAL=0.7. SE O DESVIO PADRÃO DECRESCER (POPULAÇÃO MAIS HOMOGÊNEA), AS TAXAS DE COESÃO DOS GRUPOS AUMENTAM.	49
FIGURA 4.29. UMA POPULAÇÃO HETEROGÊNEA TORNA-SE UMA MULTIDÃO HOMOGÊNEA.	50
FIGURA 4.30. CASOS QUE OCORREM EM UMA DINÂMICA DE POPULAÇÃO DADO 2 GRUPOS CONCORRENTES.	51
FIGURA 4.31. COMPARATIVO ENTRE QUANTIDADE OCORRIDA PARA CADA CASO DA DINÂMICA DE POPULAÇÕES EM 200 SIMULAÇÕES.	52
FIGURA 4.32. OS AGENTES VERMELHOS PERTENCEM AO GRUPO 1 E OS AZUIS AO GRUPO 2. OS AGENTES VERMELHO ESCURO E AZUL ESCURO PARADOS NA PASSAGEM SÃO OS LÍDERES GUIANDO OS AGENTES INDECISOS (BRANCOS). AO FINAL DA SIMULAÇÃO, 74 % DOS AGENTES FORAM SALVOS (15000 ITERAÇÕES CORRESPONDENTE A 15 MINUTOS DE EVACUAÇÃO).....	53
FIGURA 4.33. SIMULAÇÕES COM LÍDERES NÃO TREINADOS (T=1.0).....	54
FIGURA 4.34. SIMULAÇÕES COM LÍDERES PARCIALMENTE TREINADOS (T=0.5).	55
FIGURA 4.35. SIMULAÇÕES COM LÍDERES BEM TREINADOS (T=0.1).	56

Índice de Tabelas

TABELA 3.1 NÍVEIS DE EVOLUÇÃO NECESSÁRIOS PARA CADA AGENTE ADQUIRIR AS HABILIDADES RELACIONADAS. AS HABILIDADES EM NEGRITO SÃO AS HABILIDADES ADQUIRIDAS EM CADA NÍVEL.	33
TABELA 4.2 COEFICIENTES GERADOS COM SIMULAÇÕES COM LÍDERES NÃO TREINADOS (T = 1.0).	55
TABELA 4.3 COEFICIENTES GERADOS COM SIMULAÇÕES COM LÍDERES PARCIALMENTE TREINADOS (T = 0.5).	56
TABELA 4.4 COEFICIENTES GERADOS COM SIMULAÇÕES COM LÍDERES BEM TREINADOS (T = 0.1).	57
TABELA 4.5 INDIVIDUALIDADES ENCONTRADAS NA ABORDAGEM MICROSCÓPICA.	59
TABELA 4.6 ABORDAGEM MACROSCÓPICA.	60

1 Introdução

Humanos são seres complexos. Sua atividade é usualmente direcionada a objetivos e dirigida por emoções e motivações. As decisões são baseadas em estados correntes e passados, e a informação é trocada por vários canais de comunicação como linguagem, expressões faciais e gestos de mãos e corpo. Humanos também vivem em comunidades onde obedecem regras sociais e religiosas e cooperam ou competem com outros de sua espécie para atingir objetivos comuns ou individuais [Emering 1996].

Seres humanos virtuais utilizados em diferentes tipos de simulação e animação são simplificações no que tange a seus comportamentos, crenças, personalidades, etc. A área que tem investigado estes aspectos é a Animação e Modelagem Comportamental, inserida no contexto de Animação Computadorizada. O objetivo da animação é o processamento de uma seqüência de imagens correspondente a um espaço de tempo discreto. Modelos de controle de movimento são o coração de qualquer sistema de animação/simulação que determina uma interface amigável com o usuário. Podem ser classificados em três famílias: descritivos, geradores e comportamentais [Moreau 1998]. Modelos descritivos são usados para reproduzir um efeito sem qualquer conhecimento de sua causa. Este tipo de modelos inclui técnicas de animação por “keyframe” e métodos procedurais. Ao contrário dos modelos descritivos, modelos geradores descrevem a causa que produziu o efeito de movimento. Neste caso, o controle do usuário consiste em aplicar torques e forças ao modelo físico. Este estudo se aterá ao modelo comportamental visto que os dois primeiros dificultam o controle simultâneo de um grande número de agentes dinâmicos. Os modelos de animação comportamental são considerados como a simulação visual de modelos matemáticos que descrevem comportamentos. Modelar o comportamento de um ser humano pode ser descrito por um laço de percepção, decisão e ação, no qual o processo de decisão é em tempo real, concorrente e hierárquico [Moreau 1998].

A modelagem comportamental para animação e realidade virtual avançou dramaticamente na última década, revolucionando as indústrias de cinema [Antz 1998; Bug's life 1998, Star Wars 1999; Shrek 2000; David 2001], jogos e multimídia. Este campo avançou de modelos puramente geométricos a modelos físicos e biológicos mais elaborados [Terzopoulos 1999].

1.1 O problema

O problema a ser tratado neste trabalho visa discutir o comportamento social emergente de uma arquitetura multi-agente em função de seus parâmetros individuais e interações (abordagem microscópica). Além disso, busca-se investigar a abordagem macroscópica necessária para modelar populações baseadas em observações empíricas sobre multidões e grupos.

O aprendizado de comportamento social é o processo de adquirir novos padrões de comportamento em contexto social, remanescendo como um importante aspecto das interações sociais na vida animal [Mataric 1994]. Os paradigmas da vida artificial são usados para modelar uma variedade de criaturas, incluindo as virtuais [Terzopoulos 1998]. Como na vida natural, o processo de aprendizado na vida artificial ocorre porque os agentes têm em suas memórias, suas experiências passadas. Este fato é importante em simulações comportamentais, pois assim os agentes são capazes de reagir em função do que tem gravado em suas memórias. Contudo, a eficiência da memória de fatos passados é oponente a mudanças futuras que podem ocorrer no ambiente. Então um segundo e fundamental aspecto de comportamentos reativos em agentes é considerado: suas reações são baseadas também na percepção.

Como animais que não se movem aleatoriamente, e, portanto são guiados por sua percepção do ambiente e de outros animais [Balkenius 1995], neste trabalho os agentes podem perceber os outros agentes que estão dentro de seu campo de visão e evoluir no aprendizado de padrões sociais dependendo de suas interações.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é modelar e simular grupos de agentes ou entidades virtuais baseadas em suas individualidades com o objetivo de gerar comportamentos de grupos (abordagem microscópica) e gerar individualidades baseados em padrões de comportamento de grupo (abordagem macroscópica).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Revisar modelos de animação comportamental dando enfoque a comportamentos sociais.
- Revisar modelos de sistemas complexos, vida artificial e dinâmica de populações para investigação de comportamentos emergentes.
- Revisar a área de psicologia e comportamento social
- Desenvolver um modelo para simulação da formação e comportamento de grupos de entidades virtuais baseado em regras, usando animação comportamental.
- Investigar modelos de dinâmica de populações: competitivos no sentido de prover diferentes comportamentos para os grupos.
- Prover visualização gráfica e resultados numéricos a respeito do comportamento de indivíduos e grupos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

A primeira parte deste capítulo tem por objetivo revisar alguns trabalhos na área de animação comportamental. O maior objetivo de um modelo comportamental é simular entidades de maneira que estas possam evoluir de forma autônoma no contexto a que fazem parte. A modelagem comportamental possui muitas vantagens: os humanos virtuais adquirem habilidades de perceber o seu ambiente e são capazes de reagir e tomar decisões dependendo do que percebem [Moreau 1998]. Agentes autônomos são mais flexíveis, e conseqüentemente produzem menos padrões de animação repetidos, como é desejável em cenas de ação e reação de vídeo games. Apesar do escopo deste trabalho voltar-se principalmente a comportamentos sociais, serão revistos também, trabalhos de autores que desenvolveram pesquisa em outras áreas de animação comportamental usando diferentes técnicas para atingir uma animação realista.

A segunda parte contempla revisões de sistemas complexos e vida artificial. Sistemas complexos são definidos como sistemas formados por múltiplos agentes interagindo e que possuem um comportamento emergente [NECSI 2002]. A Vida Artificial, ou ALife (Artificial Life) como é conhecida, surgiu da confluência de várias disciplinas, como inteligência artificial, sistemas não-lineares e teorias biológicas. Esta ciência proposta por Langton [Langton 1993/1994], coloca em discussão conceitos que eram tidos como explicados pela ciência, isto é, conceitos físicos e biológicos acerca da vida e todas as suas etapas: crescimento, evolução, mutação, reprodução e a própria ausência de vida.

O modelo contínuo para interação de populações de *Lotka-Volterra* é descrito na terceira parte deste capítulo. Este modelo é constituído de simples equações diferenciais que podem ser usadas para mostrar como diferentes fatores afetam as interações competitivas entre duas ou mais espécies pelos mesmos recursos limitados. Apesar de alguns autores [Glassner & Price 1982] [Tilman 1980] apud [Looijen 1998] terem feito

algumas adaptações e aprimoramentos nas equações, já que este é um modelo fenomenológico que indica que uma espécie influencia a outra mas não explica como isto acontece; decidiu-se usar o modelo tradicional e adaptar somente os coeficientes das equações ao contexto deste trabalho para que possa-se simular grupos de pessoas competindo por pessoas que estão indecisas. Ou seja, pessoas que ainda não decidiram a qual grupo unir-se.

Finalmente a área de psicologia e comportamento social é contemplada. Esta área estuda o relacionamento dos indivíduos uns com os outros ou vistos singularmente ou tomados em grupo [McDavid 1980]. São abordados apenas alguns aspectos que visam identificar alguns padrões de comportamentos de pessoas reais para que subseqüentemente sirvam de base para o nosso modelo.

2.2 Animação Comportamental

As animações convencionais têm por objetivo “recriar” a vida através das habilidades artísticas de um animador que transforma suas observações, experiências, e intuição em personagens realistas. A maioria das ferramentas projetadas para este fim tem por objetivo o controle manual das imagens, formas e movimentos. A física é um exemplo de área utilizada na animação computadorizada com o objetivo de prover resultados mais realistas.

Contudo, a animação de humanos virtuais, requer mais do que ferramentas manuais ou baseadas em física. Trata-se de entidades complexas que podem possuir comportamentos dinâmicos, crenças e intenções. Além disso, habitam um mundo dinâmico e imprevisível e precisam ter autonomia. Isto significa que necessitam ser capazes de perceberem o seu ambiente e decidir o que é necessário fazer para alcançar o objetivo definido por seu comportamento. As ações relevantes têm que ser então transformadas em ações de controle motor. Portanto, o projeto de um sistema de animação comportamental abrange questões como criação de entidades autônomas dotadas de percepção, que selecionam suas ações e seu controle motor fazendo com que seu comportamento pareça real [Becheiraz 1998]. Uma entidade comportamental pode ter as seguintes capacidades: percepção do ambiente, decisão, ação, memória, capacidade pró-ativa, adaptação, comunicação, entre outros. Alguns pesquisadores têm

trabalhado para simular de forma realista estas capacidades, com o objetivo de dotar agentes com comportamentos “humanos”.

Reynolds [1987] simulou um comportamento de grupos em um modelo de movimento polarizado, agregado e sem colisão. O modelo simula pássaros e peixes, onde cada pássaro ou peixe é um agente autônomo que se comporta de acordo com sua própria percepção do ambiente dinâmico. O comportamento emerge em função de interações de três regras principais: evitar colisão, igualar a velocidade com os vizinhos e tentar ir ao centro do grupo (Figura 2.1).



Figura 2.1. Agrupamento de Pássaros [Reynolds 1987].

O primeiro artigo de animação que apresenta diferentes níveis de abstração foi escrito por *Zeltzer* [1991]. A animação é descrita por uma estrutura multicamadas onde a mais baixa camada de abstração é representada por objetos e estruturas com nenhum anexo procedural. Já no outro extremo, há a camada onde ferramentas de programação interagem com os agentes através do seu repertório de comportamentos.

Um modelo apresentando um método para interativamente especificar o relacionamento entre a resposta de um objeto aos estímulos do meio ambiente foi proposto por *Wilhelms et al* [1990]. Os objetos animados foram dotados com sensores para a detecção de estímulos de interesse e com “effectors” para a resposta.

Inspirada em comportamentos ambíguos da natureza, *Mataric* [1994,1995] propôs comportamentos básicos que são o substrato para a análise do comportamento adaptativo em ambientes complexos. Os grupos de comportamentos básicos implementados em robôs móveis para um domínio espacial proposto são: *seguir, dispersar, agregar, evitar colisão e encontrar uma determinada localização*.

A criação de uma animação envolvendo um ator sintético movendo-se automaticamente em um corredor evitando colisão com objetos e outros atores, foi desenvolvida por *Renault et al* [1990]. Para simular este comportamento, cada ator usa uma visão sintética local como sua percepção do mundo sendo ela a única entrada para o seu modelo de comportamento. *Noser* [1995,1996] implantou uma octree dinâmica que serve como a memória visual global 3D e permite um ator memorizar o ambiente que ele vê e adaptá-lo às mudanças de um ambiente dinâmico. Seu processo de raciocínio permite que ele encontre caminhos 3D baseados em sua memória visual evitando impasses e circuitos (Figura 2.2).



Figura 2.2. Atores sintéticos com percepção [Noser 1996].

Considerando que a animação de agentes humanos realistas envolve mais do que criar movimentos que pareçam reais, *Badler* [1995,1995a] propôs a animação de agentes virtuais usando vários níveis de comportamento, laços de controle de ação, planejamento em alto nível e redes de tarefas paralelas.

Costa et al [1995] propõe o modelo baseado em cognição, emergência, recorrência e cooperação. O conceito de orientação ao componente revelou-se uma eficiente e fácil

maneira de criação de trabalho cooperativo entre agentes e satisfaz os princípios de emergência.

O principal objetivo em criar atores sintéticos realistas é construir humanos virtuais autônomos e inteligentes com adaptação, percepção e memória. Estes atores devem ser capazes de agir com liberdade e emoção. Os atores sintéticos foram classificados por *Thalmann* [1996,1999] nas seguintes categorias:

- Participantes ou avatares – são atores que representam o usuário em um mundo virtual, geralmente executam ações que o usuário está executando em tempo-real com um equipamento de realidade virtual.
- Atores guiados – são atores dirigidos pelo usuário através de ordens
- Atores autônomos – são capazes de ter comportamento próprio, o que significa que devem ter uma maneira de conduzirem-se sozinhos.
- Atores interativos e perceptivos – são considerados os atores que interagem com seu ambiente e até comunicam-se com outros atores

Cavazza [1998] incluiu nesta classificação a animação facial visto que o controle de movimento tornou-se muito alto-nível, explicando quais interfaces são necessárias para o controle destas entidades em tempo-real. Já os conceitos de autonomia e níveis de autonomia foram propostos por *Thalmann* [1999a] juntamente com uma nova abstração da especificação de comportamentos em ambientes virtuais complexos envolvendo agentes humanos, grupos de agentes e objetos interativos dotados de níveis de autonomia.

Bouvier [1997] desenvolveu um método genérico baseado em sistema de partículas adaptado para o estudo da movimentação de multidões, onde cada ser humano é modelado como uma partícula. Este conceito consiste na associação de cada pessoa a um estado que define a sua reação ao que é percebido por ela. Um estado é composto por um grupo de cargas que são chamadas “cargas de decisão” influenciadas por campos chamados “campos de decisão”. Esta modelagem é influenciada pelas noções de cargas elétricas no sentido em que uma partícula com carga elétrica será influenciada

por um campo elétrico da mesma maneira que uma pessoa com uma carga de decisão. Também usando sistemas de partículas, *Helbing* [1995,2000,2002] modelou o fenômeno de pânico coletivo em evacuações. Suas simulações da dinâmica de multidões são baseadas em modelos de força generalizada, que se aplicam a descrição da formação fatal de pressão observada durante os casos de pânico.

Brogan and Hodgins [1997, 1998] reproduziram movimentos de grupos de robôs com uma perna, ciclistas e sistemas de partículas baseado em dinâmica. Usaram um algoritmo para evitar colisão que determina a posição desejada para cada indivíduo fornecendo a localização e velocidades das criaturas visíveis e obstáculos. Precedente a este algoritmo, foi usado um modelo de percepção que tornou as criaturas e obstáculos visíveis para cada indivíduo (Figura 2.3).

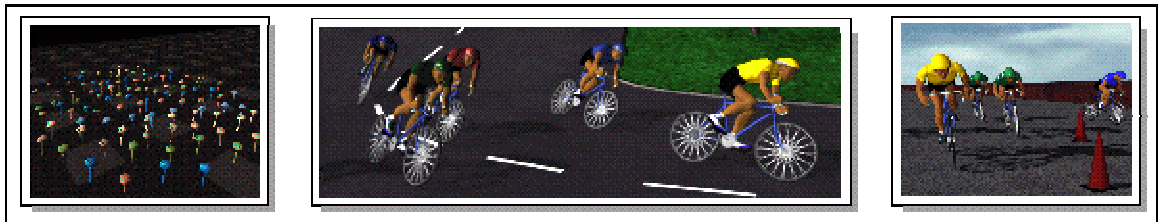


Figura 2.3. Grupos de ciclistas e robôs móveis simulados por Brogan and Hodgins.

Para incrementar a credibilidade dos atores autônomos, *Bécheiraz* [1998] definiu não apenas seus comportamentos mas também suas emoções. Estas emoções são definidas inicialmente, e alteradas pelas condições emergentes durante a simulação. As reações emotivas que são dadas em resposta, de cada ator, são definidas por sua personalidade.

Uma entidade comportamental autônoma age baseado em parâmetros internos ou externos a ela. Para que as informações não estejam apenas nos agentes, alguns pesquisadores têm trabalhado para que o ambiente fornecesse as informações necessárias ao agente. Já que um modelo mental completo baseado na visão e no processamento de imagem não pode ser construído em tempo real usando puramente informações geométricas, altos níveis de informação são necessários para se modelar um ambiente virtual. *Tomaz* [2000] apresentou um modelo de ambientes virtuais urbanos usando estruturas e informações que se adequam a animações comportamentais. Assim, atores virtuais autônomos podem agir como pedestres ou motoristas de carro em

uma cidade complexa. Para suprir a necessidade de ter objetos interativos em ambientes virtuais, *Kallmann* [1999,2000] propõe uma maneira de modelar objetos que inclui informações sobre sua funcionalidade, mudança de aparência em função de deformações parametrizadas, e um plano completo para cada possível interação com humanos virtuais.

Caicedo [2000] apresentou alguns pontos chave para a simulação de humanos virtuais inteligentes, coordenados através de uma arquitetura cliente-servidor. O paradigma de seleção de ação foi composto por: planejamento de metas, gerenciamento de opiniões dinâmicos, estados internos e níveis de confiança.

ViCrowd, o sistema proposto por *Musse* [2001] gerencia informações de multidões hierárquicas gerando comportamentos em grupos e indivíduos com diferentes níveis de autonomia: comportamentos programados, guiados ou autônomos. Para caracterizar as entidades virtuais que compunham a multidão foi criada a metodologia *KSI* [Musse 2000] composta por três tipos de informações genéricas associadas tanto aos indivíduos quanto aos grupos: knowledge (K), status (S) e intentions (I).

- Knowledge – relaciona-se à percepção e à memória. As entidades podem ter conhecimento sobre outras entidades, sobre suas memórias (ações passadas) e sobre o ambiente (visibilidade, sinais, pontos de interesse).
- Status – são atributos individuais ou de grupo que são considerados relevantes para a simulação (estado emocional, carisma, coesão de um grupo, etc.).
- Intentions – são os objetivos das entidades (ir a algum lugar, comunicar-se, etc.)

Uliny [2001] apresentou alguns resultados para simulação de multidões em ambientes virtuais interativos como, por exemplo: sistemas de treinamento de realidade virtual para situações de emergência urbanas. Para isto, foi definido um sistema com arquitetura multi-agente permitindo que comportamentos tanto de agentes autônomos quanto guiados interajam entre eles, com o ambiente virtual, e com participantes humanos reais.

Contrariando o conceito de que comportamentos que usam os mesmos recursos são mutuamente exclusivos, *Lamarche e Donikian* [2001] propuseram um modelo de comportamentos paralelos introduzindo recursos e níveis de prioridade. Com o objetivo de sincronizar comportamentos (ex. fumar, ler jornal e tomar café) e permitir uma eficiente alternância de comportamentos de acordo com sua relativa importância, foram introduzidas noções de recursos, graus de preferência e prioridade. Recursos permitem descrever exclusões entre comportamentos enquanto graus de preferência são usados para descrever diferentes realizações possíveis ou possibilidades de adaptação de um comportamento. Usando esta informação, um escalonador automaticamente sincroniza os diferentes comportamentos de acordo com suas respectivas prioridades (Figura 2.4).

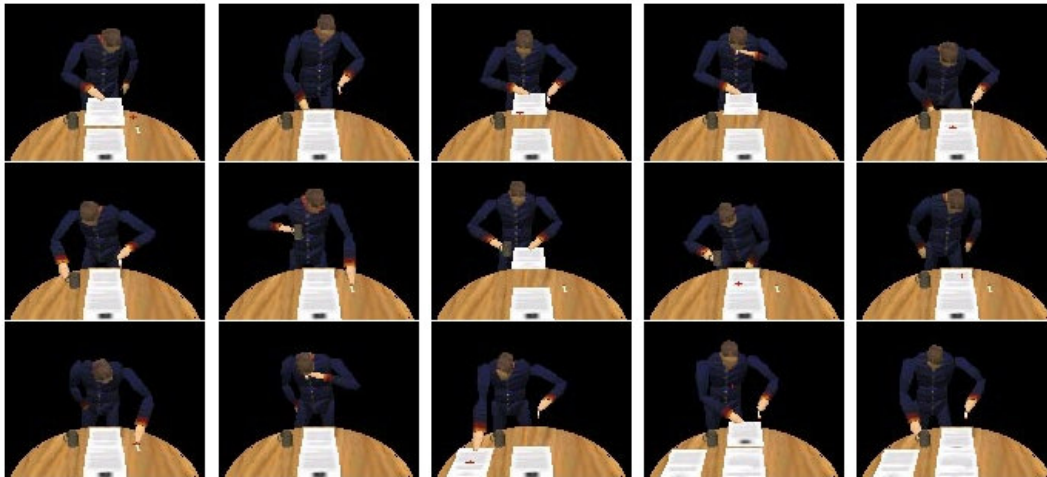


Figura 2.4. Comportamentos concorrentes e paralelos. Fumar, ler jornal e tomar café. [Lamarche e Donikian, 2001].

Recentemente um sistema de classificação dedicado a simulação comportamental de entidades virtuais foi desenvolvido por *Sanza et al* [2001]. As principais características deste sistema são a habilidade de gerar comportamentos autônomos e adaptação a mudanças do ambiente permitindo às entidades evoluírem de maneira autônoma.

O problema de integrar várias técnicas de animação comportamental, como a simulação física dos agentes, seus comportamentos e motivações, guiados por seus desejos e intenções foi discutido por *Monzani* [2001]. *Barros et al* [2002] desenvolveu uma

estrutura que integra diferentes módulos de comportamento. Foi apresentada a possibilidade de integração dos diferentes módulos usando um servidor ativo. Desta maneira o servidor age de forma autônoma para tratar as dependências entre os módulos clientes. Um modelo que permite a geração de memórias durante a simulação sem a intervenção do usuário foi proposto por *Evers et al* [2002]. Usando máquinas de estado finito, dinâmicas e hierárquicas, as experiências passadas dos agentes são representadas.

2.3 Sistemas Complexos e Vida Artificial

Um sistema complexo é considerado um sistema com múltiplos agentes agindo de múltiplas maneiras, seguindo regras locais e esquecendo quaisquer instruções alto nível. Mas, um sistema assim não pode ser considerado verdadeiramente emergente até essas interações locais resultarem em algum macro-comportamento discernível. Assim pode-se dizer que emergência é o que acontece quando um sistema interconectado com elementos relativamente simples, se auto-organiza de maneira mais inteligente, com um comportamento adaptativo em níveis mais altos. É um modelo “bottom-up” que não é planejado [Johnson 2001]. Sistemas que à primeira vista parecem muito diferentes - colônias de formigas, cérebros humanos, engarrafamentos de trânsito, multidões – todos seguem as regras de emergência. Em cada um destes sistemas, agentes residentes em uma determinada escala produzem comportamentos que aparecem em uma escala superior: formigas criam colônias, carros criam congestionamentos de trânsito, pessoas criam grupos e multidões. Além disso, comportamentos residentes em uma escala superior influenciam comportamentos em uma escala inferior, ex. os carros influenciam a criação de um congestionamento assim como a velocidade deles será modificada em função do congestionamento criado (Figura 2.5)

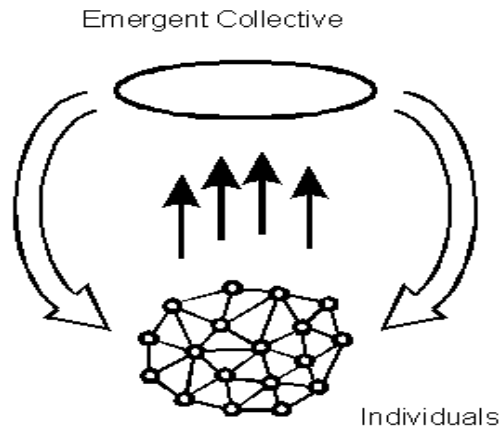


Figura 2.5. O comportamento coletivo emerge das interações entre indivíduos [Langton 1995]

A modelagem e simulação de sistemas vivos para computação gráfica resultaram em uma integração com a pesquisa científica em vida artificial. As pesquisas em vida artificial estão situadas no avanço de modelos gráficos para síntese de imagem, animação, multimídia e realidade virtual. Mais significativamente, estes modelos precisam simular muitos dos processos naturais que exclusivamente caracterizam os sistemas biológicos – incluindo nascimento e morte, crescimento e desenvolvimento, percepção, locomoção, manipulação, comportamento adaptativo, aprendizado e inteligência [Terzopoulos 1999].

Baseado em colônias de formigas, surgiu a definição de um paradigma computacional, chamada *Ant System*. Este sistema constitui-se de um algoritmo distribuído aplicado ao problema do caixeiro viajante (TSP), onde, um grupo de agentes chamados formigas coopera para achar boas soluções ao TSP. Formigas usam uma forma indireta de comunicação mediante os feromônios que depositam nas extremidades do grafo TSP enquanto constroem soluções [Dorigo 1997].

Resnick [1997] explora o fascínio pela descentralização examinando como as pessoas pensam atualmente sobre sistemas descentralizados e as maneiras como deveriam pensar sobre eles. Ele descreveu novas ferramentas e atividades que foram projetadas para que as pessoas experimentassem novos tipos de sistemas e tivessem novos tipos de pensamentos. Usando a linguagem Logo desenvolveu simulações com congestionamentos de carros, cupins e tartarugas. Apresentou a idéia de níveis que

consiste em considerar as interações entre objetos em um nível, fazendo aparecer novos tipos de objetos em um nível acima. Em muitos casos, os objetos em um nível comportam-se diferentemente dos objetos em outro nível. Por exemplo, congestionamentos de trânsito tendem a mover-se para trás, mesmo quando todos os carros dentro do congestionamento movem-se para frente. A idéia de níveis é extremamente importante para sistemas descentralizados com fenômenos de auto organização.

O sistema de simulação *Swarm* é um pacote de modelagem para a investigação de sistemas concorrentes e distribuídos [Langton 1995; Swarm 2002]. Foi desenvolvido pelo grupo de vida artificial no Instituto Santa Fé [Santa Fé 2002] para prover uma arquitetura geral para problemas que abrangem um grande variedade de disciplinas que vão da física, biologia até a economia. Muitos destes problemas são uma estrutura comum que consiste de um grande número de agentes autônomos interagindo em um mesmo contexto. A simulação por computador é uma ferramenta essencial para estudar um comportamento global e adaptativo que emerge deste tipo de sistema complexo.

Tu e Terzopoulos [Tu 1994,1999] criaram agentes auto-animados e autônomos que possuem aparência realista, movimento e comportamento de animais individuais e os padrões de comportamento social evidentes em grupos de animais. Seus modelos computacionais alcançaram este objetivo capturando as características essenciais em criaturas biológicas – biomecânica, locomoção, percepção e comportamento. Para validar o seu modelo, implementaram um mundo virtual marinho habitado por uma variedade de peixes realistas do ponto de vista visual e comportamental.

ALIVE (Artificial Life Interactive Virtual Environment) [ALIVE 2000; Maes 1995,1996] é um sistema que permite interações de corpo inteiro entre participantes humanos e mundos gráficos habitados por criaturas de vida artificial. Estes personagens têm suas próprias motivações e podem sentir e interpretar as ações de outros personagens, tanto quanto dos participantes humanos, respondendo a eles em tempo real.

2.4 Modelos Contínuos para Interação de Populações

Quando espécies interagem entre elas a dinâmica da população é afetada. *Volterra* [1926] foi o primeiro a propor um modelo simples para interação entre duas espécies com o objetivo de explicar os níveis oscilatórios de certos peixes no mar Adriático. O modelo é representado por:

$$\frac{dN}{dt} = aN - bNP = N(a - bP),$$

$$\frac{dP}{dt} = cNP - dP = P(cN - d),$$

onde N e P representam o número de presas e predadores respectivamente.

De acordo com estas equações:

- A presa (N) cresce ilimitadamente na ausência de predadores conforme indicado pelo termo aN , onde a é a taxa linear de nascimentos das presas.
- O efeito dos predadores (P) sobre as presas são demonstrados por um termo proporcional às populações de presas e predadores, $-bNP$. O efeito deste termo é a redução das taxas de crescimento per capita das presas.
- Na ausência de presas para subsistência, a taxa de mortalidade dos predadores resultam em decadência exponencial, este é o termo $-dP$, onde d é a taxa linear de mortalidade.

A contribuição das presas para a taxa de crescimento dos predadores é cNP ; que é proporcional às presas disponíveis e ao tamanho da população de predadores. Os termos NP podem ser considerados como a representação da conversão de energia entre uma fonte e outra: bNP é a retirada das presas e cNP resulta para os predadores.

Este modelo é conhecido como *Lotka-Volterra* já que as mesmas equações também foram derivadas por *Lotka* [1920] de uma reação química hipotética que exibiu comportamento periódico em concentrações químicas.

O modelo competitivo *Lotka-Volterra* é demonstrado por equações diferenciais ordinárias para um número de indivíduos de duas espécies competitivas. Sem a presença do outro, cada espécie desenvolve-se de acordo com um crescimento linear e uma taxa de mortalidade quadrática, onde a última depende da capacidade de subsistência do ambiente para a espécie correspondente. A influência de uma espécie por outra é dada por um termo de produto cruzado que representa o efeito competitivo entre elas. Mais precisamente, as equações *Lotka-Volterra* são:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - b_{12} \frac{N_2}{K_1} \right),$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - b_{21} \frac{N_1}{K_2} \right),$$

Nestas equações:

- N_1 e N_2 são o número de indivíduos do grupo 1 e grupo 2 respectivamente,
- os r_1 e r_2 são as taxas de crescimento linear.
- os K_1 e K_2 são as capacidades de subsistência fornecidas pelo ambiente para os grupos 1 e 2 respectivamente,
- os b_{12} e b_{21} são a medida da competitividade de grupo 2 no grupo 1 e do grupo 1 no grupo 2 respectivamente.

Para facilitar a análise, as equações abaixo podem se normalizadas pelas seguintes regras [Murray 1989]:

$$u_1 = \frac{N_1}{K_1}, \quad u_2 = \frac{N_2}{K_2}, \quad a_{12} = b_{12} \frac{K_2}{K_1}, \quad a_{21} = b_{21} \frac{K_1}{K_2}.$$

Considerando o estudo analítico deste modelo, tem-se quatro casos representados pelas trajetórias de fase da população representadas no plano $u_1 \times u_2$. Como mostrado nas Figuras 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9.

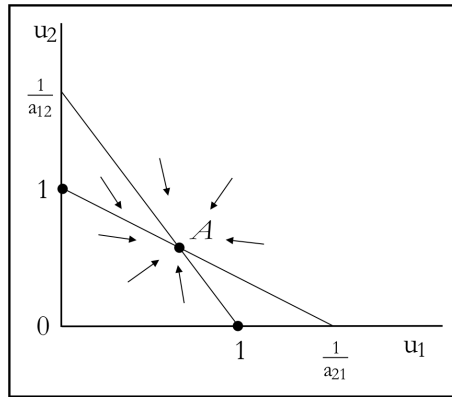


Figura 2.6. Neste caso, onde $a_{12} < 1$ e $a_{21} < 1$, existe um ponto de equilíbrio estável A , que significa que as duas espécies coexistirão e seus estados tendem para as coordenadas de A . A competição neste caso não é agressiva.

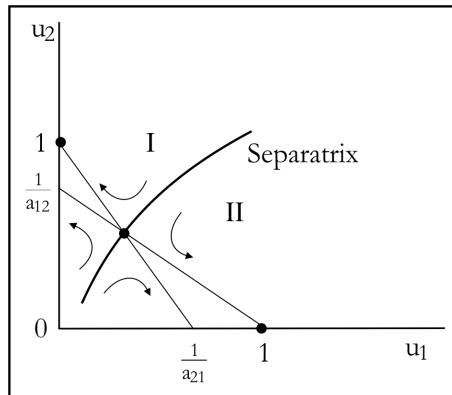


Figura 2.7. Para o caso onde $a_{12} > 1$ e $a_{21} > 1$ só uma espécie sobrevive, dependendo do estado inicial do sistema. De fato, se o estado inicial $(u_1(0), u_2(0))$ é acima da linha “separatrix”, a espécie 2 irá se extinguir enquanto, se o estado inicial for abaixo da “separatrix”, a espécie 1 irá se extinguir. Neste caso a competição é agressiva.

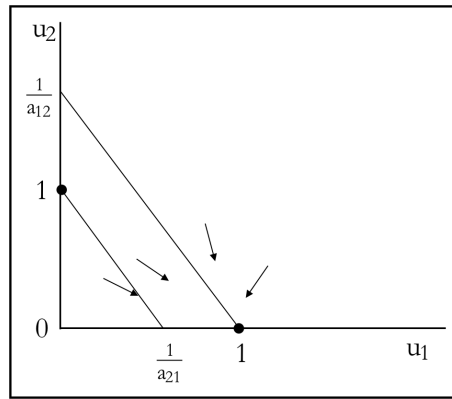


Figura 2.8. Se $a_{12} < 1$ e $a_{21} > 1$, a competição leva à extinção da espécie 2, independentemente do estado inicial $(u_1(0), u_2(0))$. Neste caso a competição também é agressiva.

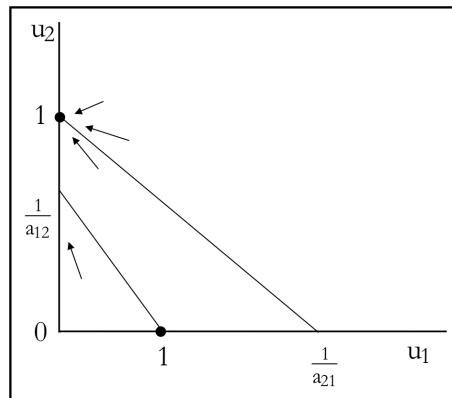


Figura 2.9. Se $a_{12} > 1$ e $a_{21} < 1$, o contrário do caso anterior acontece; a competição leva a extinção da espécie 1, independentemente do estado inicial $(u_1(0), u_2(0))$.

2.5 Psicologia e Comportamento Social

O processo de socialização torna humano o indivíduo, que nasceu simples animal; é através dele que estruturamos uma personalidade, que nos tornamos um ser social. Cada pessoa sofre influências de tudo e de todos que a cercam, e, de sua parte, exerce influência sobre aqueles com quem entra em contato. Os homens, em situação social, influenciam uns aos outros. Esta ação recíproca – ou interação – é o processo social básico. A sociologia assinala cinco formas essenciais da interação: *cooperação, competição, conflito, acomodação e assimilação* [Carvalho 1983] [Gouveia 1967].

- Cooperação – entre as modalidades de interação, sobressai a cooperação como a mais valiosa forma para o progresso harmônico do indivíduo (com sua integração social), para a união (a sobrevivência) e o progresso social.
- Competição – competição é um processo de luta por bens escassos que podem ser materiais ou imateriais: alimentos ou prestígio, afeto, etc. A competição consciente leva à rivalidade.
- Conflito – o conflito é uma luta por posição (da pessoa no grupo, ou do grupo em outro maior). Tanto a competição, como o conflito, são dois aspectos de um processo social, a oposição. A oposição é sempre necessária, mas em sentido construtivo, tendendo para uma melhor consecução dos objetivos comuns.
- Acomodação – a periodicidade e a intermitência do conflito (iniciado, todos começam a pensar em terminá-lo), levam a que ele termine e que as partes convivam. Para isso é necessário o início do processo de ajustamento: a acomodação. A acomodação é um ajustamento aparente. Muda o comportamento, mas as idéias e os sentimentos não mudam.
- Assimilação – com o tempo a acomodação pode conseguir a modificação das atitudes naqueles que se acomodaram. Surge então a assimilação, que é um processo profundo e durável.

A chave do processo de socialização é a *aprendizagem social*. A psicologia define aprendizagem como qualquer modificação de comportamento social que resulta de experiências no ambiente, especialmente as modificações que são modeladas por prêmios e castigos. Em termos simples, há três espécies de resultados que podem acompanhar qualquer ato de comportamento: o ato pode levar a pessoa para mais perto do seu fim e facilitar a sua consecução (*prêmio*); o ato pode levar a pessoa numa posição de sofrimento que interfere em seu fim ou é incompatível com ele (*castigo*); ou pode produzir uma mudança que não é apreciável nem interfere na consecução do fim nem o facilita (*não-recompensa*) [McDavid 1980].

A unidade básica de interação entre pessoas é a díade, isto é, um conjunto de dois indivíduos cujo comportamento tem significativo impacto mútuo. Cada um está

consciente da presença do outro e as ações de cada um provocam reações no outro. Uma das qualidades mais importantes do comportamento interpessoal diádico é que ele é *continuamente emergente*: as ações de uma pessoa estimulam a reação comportamental da outra a estas reações, por sua vez, estimulam outras reações na primeira. Esta seqüência de ações e reações sociais é continuada e muda constantemente [McDavid 1980].

Tentando compreender a experiência e o comportamento do homem nos ambientes sociais, os psicólogos se interessam particularmente pelos sistemas sociais *organizados*. O termo *grupo* tem uma definição específica na Psicologia Social: não se refere simplesmente a um certo número de pessoas, mas especialmente a um conjunto de pessoas que participa de um sistema de organização. A pergunta quantos indivíduos são necessários para a emergência de um grupo, pode ter várias respostas. Um conjunto de duas pessoas já pode ser considerado um grupo. Entretanto, sistemas com três ou mais participantes recebem um acréscimo de várias dimensões. Um terceiro participante proporciona uma audiência para a interação dos outros dois. Cada pessoa pode ser, não só diretamente mas indiretamente, relacionada com cada uma das outras, porque o terceiro participante pode ser mediador entre os dois primeiros. Entre três pessoas pode haver facções [McDavid 1980].

A coesão de um grupo é um conceito multidimensional difícil de definir, mas que se evidenciou útil para caracterizar o grau de sentimento “nós” de um grupo. Os primeiros debates teóricos de Lewin [1939] apud [McDavid 1980] sobre as características do grupo salientaram que, quando um grupo se torna organizado como sistema social limitado, há crescentes atrações internas dentro dele. Quanto maior é a coesão do grupo mais dificuldade se tem de abandoná-los. Semelhanças de interesses, de valores e de atitudes são aspectos importantes da atração que alguém sente a respeito do grupo [Hartley, 1960] apud [McDavid 1980]. É provável que alguém se associe a grupos cujos interesses e normas combinem com seus próprios valores ou ao menos a grupos em que pode esperar ser aceito ou no qual sua inserção dê prazer.

Existe uma relação circular recíproca entre coesão e desempenho de grupo: ninguém sabe dizer se os grupos se tornam mais coesos porque tem um desempenho bem-sucedido e são formados por membros satisfeitos ou se tem um desempenho mais bem-

sucedido e fazem seus membros mais satisfeitos porque são coesivos. Portanto, coesão e nível de desempenho do grupo são realidades que se inter-relacionam.

A liderança inclui o desempenho de um tipo especial de papel que se define essencialmente em termos de poder ou capacidade de influenciar outras pessoas. Quer dizer, a liderança implica diretamente em “seguimento” por parte de outras pessoas do grupo. Esta concepção de papel como envolvendo relações de poder define, então, a liderança como a freqüência com que uma pessoa pode ser identificada como quem influencia ou dirige o comportamento de outras pessoas dentro do grupo. Os traços particulares de comportamento que se associam com a liderança efetiva são específicos das situações particulares: por isso, só se pode falar de maneira muito generalizada sobre as qualidades gerais de bons líderes. Estas abrangem sensibilidade, flexibilidade e responsabilidade. É pouco evidente que a capacidade geral de liderança possa ser treinada ou cultivada facilmente; entretanto, o treinamento pode desenvolver qualidades específicas de que tem necessidade um grupo particular para objetivos particulares e, assim, facilitar a liderança em um caso específico [McDavid 1980].

2.6 Contexto deste Trabalho no Estado da Arte

Neste trabalho é implementado um sistema de regras para simular o comportamento de grupos de humanos virtuais a exemplo de *Reynolds* [1987] que usou um conjunto de regras para simular grupos de pássaros e peixes, e *Mataric* [1994,995] que simulou o comportamento de robôs móveis. As habilidades de mover-se, perceber outros agentes, relacionar-se, memorizar com quais agentes tiveram boas relações, agrupar-se, entre outras, torna os agentes capazes de ter comportamento próprio. Sendo assim, nossos agentes podem ser classificados como autônomos [Thalman 1996,1999].

Os agentes virtuais podem perceber o ambiente e outros agentes e, são capazes de memorizar com quem tiveram boas relações [Evers 2002]. Além disso, os agentes possuem emoções [Bécheraz 1998] que podem variar de acordo com as relações estabelecidas com outros agentes durante a simulação. Para caracterizar os agentes em relação aos seus conhecimentos, estados e intenções, usaremos a metodologia *KSI* [Musse 2000]. A evolução dos agentes é descrita através de um sistema de recompensas para aprendizado já usado por *Sanza et al* [2001] e *Mataric* [1994].

As equações de *Lotka* [1920] e *Volterra* [1926] adaptadas ao nosso modelo tornam os grupos competitivos. A competição se dá por dois grupos competindo para arrecadar mais membros para si. Para isto, usam os parâmetros de grupo (coesão, taxa de crescimento e taxa de competitividade) que são calculados baseados nos parâmetros individuais dos membros.

Para visualizar a simulação, são usados os visualizadores *Caterva* e *RTKrowd* desenvolvidos por *Barros et al* [2002].

Na abordagem microscópica, o modelo através de interações entre indivíduos, faz surgir um comportamento emergente traduzido pelo surgimento de grupos [Langton 1995]. A idéia de níveis proposta por *Resnick* [1997], se aplica ao nosso trabalho visto que comportamentos de indivíduos fazem surgir comportamentos de grupos e comportamentos de grupos geram comportamentos de indivíduos. Como os agentes de *Tu e Terzopoulos* [1994,199], nossos agentes possuem características de agentes de vida artificial: comportamento e aparência realista e padrões de comportamento social evidente em grupos de animais.

A grande contribuição deste trabalho é o paradigma para modelagem de grupos com abordagem micro e macroscópicas baseadas na utilização de regras, recompensas e competitividade que visam a caracterização das entidades (indivíduos e grupos) através de parâmetros e, o estudo de seu comportamento emergente.

3 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho visa desenvolver um modelo para simular a formação e comportamentos de grupos de entidades virtuais usando animação comportamental. Para isto são usados três tipos de métodos:

- sociológicos baseados em regras e recompensas,
- dinâmica de populações,
- empíricos de multidões (observações de filmes).

e dois tipos de abordagem: microscópica e macroscópica. Na primeira, são utilizados comportamentos individuais para gerar comportamentos de grupo. Na abordagem macro, os comportamentos de grupo são usados para gerar informações de indivíduos. Cada uma das abordagens é composta por fases distintas que serão explicadas separadamente. A seguir, são especificados três tipos de informações associadas tanto às entidades virtuais como aos seus grupos : conhecimento(**K**), estado (**S**) e intenções (**I**).

3.1 Conhecimento, Estado e Intenções (*KSI*)

A seguir são apresentados os parâmetros associados a cada tipo de informação que dizem respeito diretamente ao nosso modelo:

- Conhecimento (**K**) - para indivíduos: os parâmetros que podem ser conhecidos são a respeito de outras entidades: localização, orientação, estados, bem como relações passadas.
- Estado (**S**) - para indivíduos: os estados são atributos individuais que considera-se relevantes para a simulação.

- *Estado Emocional* – é um estado entre [0,1] que significa se a indivíduo está feliz, triste, angustiado, etc.
- *Conforto* – se o indivíduo sente-se bem em determinado momento e lugar, também um valor entre [0,1].
- *Comunicação* - grau de comunicação da entidade, novamente um valor entre [0,1].
- *Sociabilidade*- indica o quão sociável é cada agente.

Para grupos: estes atributos de grupo foram escolhidos para facilitarem a simulação de competitividade entre grupos.

- *Coesão* – homogeneidade das características dos indivíduos dentro do grupo.
- *Competitividade* – mede a grau de competitividade que um grupo possui em relação a outro.
- *Taxa de crescimento* - mede o poder de crescimento que um grupo possui.
- *Tipos de Grupo* - definimos diferentes tipos de grupos baseado no grau de coesão entre os membros do grupo:
 - *Estáticos (GE)* – os membros do grupo tem a mesma intenção e uma forte coesão, estas pessoas não irão separar-se facilmente e se separados, vão tentar se encontrar. Geralmente, criam um espaço de movimento e posicionamento de grupo (ex.: famílias e amigos).
 - *Dinâmicos (GD)* – estas pessoas tem uma coesão menos intensa se comparada ao grupo estático. O grupo pode ser dividido em dois ou mais grupos ou ainda somar-se com outros (ex.: torcedores que caminham juntos por um período de tempo e depois se separam).
 - *Temporários (GT)* – este grupo é formado durante um pequeno período de tempo por uma razão determinada (ex.: um grupo de pessoas andando pela sombra em dia quente).

- **Intenções (I)** – para indivíduos: as intenções podem ser resumidas nas seguintes tarefas que são executadas pelas entidades. Para indivíduos:

- Seguir <algum indivíduo>
- Comunicar-se <com algum indivíduo ou grupo>
- Trocar < estado >

Para grupos:

- Ir para <algum lugar>
- Competir <com algum grupo>

3.2 Abordagem Micro e Macroscópica

Modelos baseados em indivíduo estudam as conseqüências globais das interações dos membros de uma população [Reynolds 1997]. Estes modelos consistem tipicamente de um ambiente no qual as interações ocorrem e um número de indivíduos definidos em função de seus comportamentos e parâmetros. Neste tipo de abordagem microscópica, as características dos indivíduos são rastreadas constantemente, em contraste com a abordagem macroscópica onde as características de toda a população ou de um grupo de indivíduos são medidas conjuntamente. Este modelo descreve estas duas abordagens através da execução seqüencial de 3 fases que são sucintamente descritas a seguir:

- Fase 1 – visa a evolução social até o agrupamento dos agentes
- Fase 2 – aplicação de comportamentos competitivos aos grupos
- Fase 3 - visualização de comportamentos de grupos e indivíduos

3.2.1. Abordagem Microscópica

Na abordagem microscópica (Figura 3.1), os *KSI's* individuais são definidos pelo usuário por um arquivo script (1) (*Seção 3.4*) ou gerados automaticamente. Os *KSI's* individuais na Fase 1 (2), responsável pela evolução e agrupamento dos agentes (*Seção 3.3.1*), geram *KSI's* de grupo (4), ou são modificados baseados em relações estabelecidas entre os agentes (3). A Fase 2 (5) (*Seção 3.3.2*), através da competição

entre grupos, pode modificar os *KSI's* de grupos (7) ou enviá-los para a Fase 3 (6) (*Seção 3.3.3*), onde serão gerados comportamentos visuais para indivíduos e grupos.

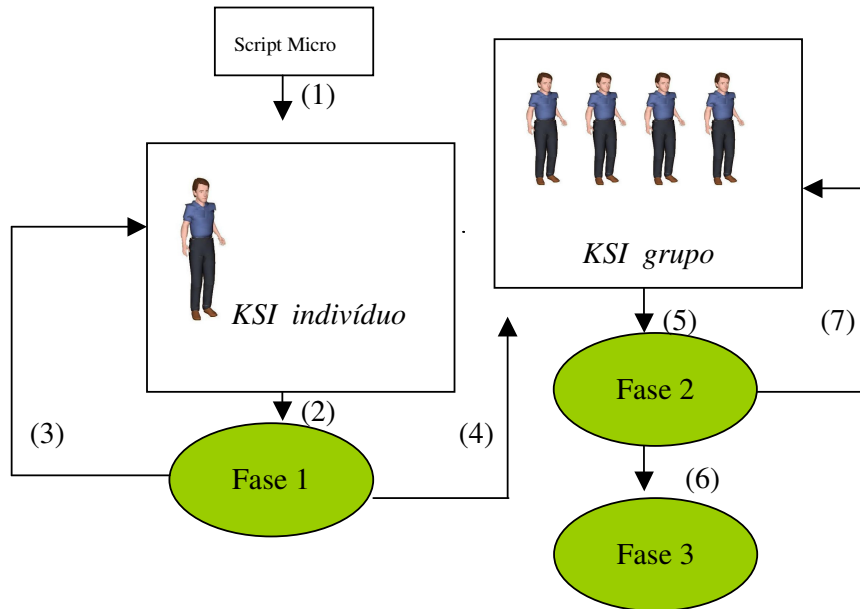


Figura 3.1. Abordagem Microscópica

3.2.2. Abordagem Macroscópica

Nesta abordagem os *KSI's* de grupo são informados pelo usuário via script (1) (*Seção 3.4*). Os *KSI's* de grupo são entrada para a Fase 2 (2) (*Seção 3.3.2*), onde os grupos poderão competir modificando os *KSI's* de grupo (3). Na Fase 3 (*Seção 3.3.3*) os comportamentos alto-nível de grupos traduzidos em seu *KSI's* serão simulados em comportamentos baixo-nível e podem gerar *KSI's* individuais (4) (Figura 3.2).

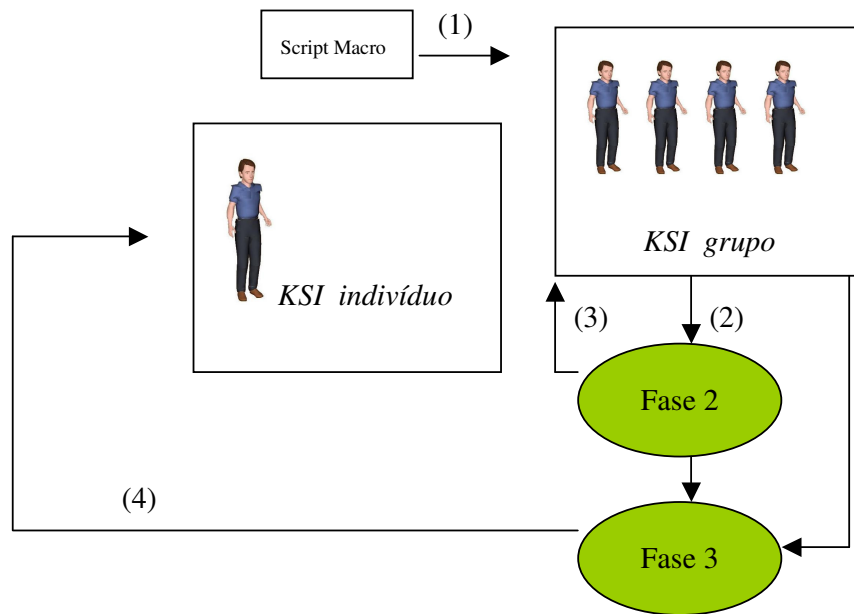


Figura 3.2. Abordagem Macroscópica.

3.3 Fases do Modelo

Conforme visto nas seções anteriores, o modelo é composto por três fases. A primeira fase do modelo fornece aos agentes, habilidades de aprender comportamentos sociais baseado em suas individualidades, gerando assim comportamentos de grupos. A segunda fase usa equações de *Lotka-Volterra* para tornar os grupos que emergiram na Fase 1, competitivos, modificando assim, seus coeficientes. A terceira fase tem por objetivo traduzir os comportamentos de grupos em *KSI's* individuais.

Cada fase do modelo é explicada nas subseções a seguir.

3.3.1. Fase 1: Aprendizado de comportamento social

Esta fase do modelo, que ocorre apenas quando o usuário escolhe abordagem microscópica, agrupa os agentes de acordo com um sistema de regras baseado em modelo de recompensas para geração de comportamentos sociais.

Cada agente é dotado de determinadas habilidades que permitem aprender como comportar-se socialmente e agrupar-se com outros. A seguir, são apresentados detalhes sobre os agentes

3.3.1.1. Os Agentes

Cada agente possui atributos individuais (*KSI's*) que caracterizam sua personalidade e estados internos. Todos os atributos variam no intervalo [0,1].

- Estado Emocional (*S*) – inicialmente é determinado randomicamente ou via script pelo usuário, muda a cada nova interação com outros agentes representando a mútua influência.
- Comunicação (*C*) – é um valor fixo determinado pelo usuário ou determinado randomicamente.
- Conforto (*Co*) – inicialmente é determinado como 0 mas troca a cada interação. Depende da qualidade das últimas interações, do estado emocional (*S*) e do grau de sociabilidade (*So*) do agente.
- Sociabilidade (*So*) – inicialmente é determinado como 0 mas aumenta em 1 a cada nova interação. É uma contador de interações.

Os outros atributos caracterizam a mobilidade dos agentes e sua percepção.

- Velocidade (v_i) – no início da simulação cada agente recebe uma velocidade de locomoção que varia entre [0,1].
- Região de Percepção (P_i) - definida pela associação da distância de percepção d_i e ângulo de percepção θ_i (Figura 3.3).

As habilidades dos agentes são classificadas em dois grupos: habilidades básicas (inerentes ao indivíduo) e habilidades adquiridas (aquelas que o indivíduo pode aprender dependendo do seu nível de evolução).

As habilidades básicas são descritas por:

- Movimento – no começo da simulação, antes de adquirir qualquer habilidade, os agentes movem-se randomicamente de acordo com sua velocidade de locomoção. Após adquirir habilidades, os agentes movem-se de acordo com seu nível de evolução.
- Percepção – cada agente é capaz de verificar se outro agente está dentro da região de percepção (Figura 3.3).
- Interação – acontece quando dois agentes percebem-se um ao outro (Figura 3.4). I_{ij} representa a interação entre i -agente e j -agente.
- Memorização - os agentes são capazes de memorizar com quais agentes interagiram e como foi a qualidade desta interação.

Durante a simulação, cada agente adquire novas habilidades dependendo do seu estado emocional (S), nível de conforto (Co) e sociabilidade (So).

- Seguir – cada agente torna-se capaz de seguir outros.
- Acessar a memória – os agentes acessam sua memória para procurar informação sobre a qualidade de suas interações passadas.
- Selecionar – os agentes são capazes de selecionar com quais agentes eles tiveram uma boa qualidade de interação identificado por um escore $I_{ij} > 6$.
- Agrupar-se – a habilidade de agrupar-se existe em função de Co_i, S_i e So_i assim, depois de alcançar $Co_i + S_i + So_i > 2.25$ (Tabela 3.1), os agentes são capazes de formar grupos com os quais eles tiveram boa qualidade de interações.

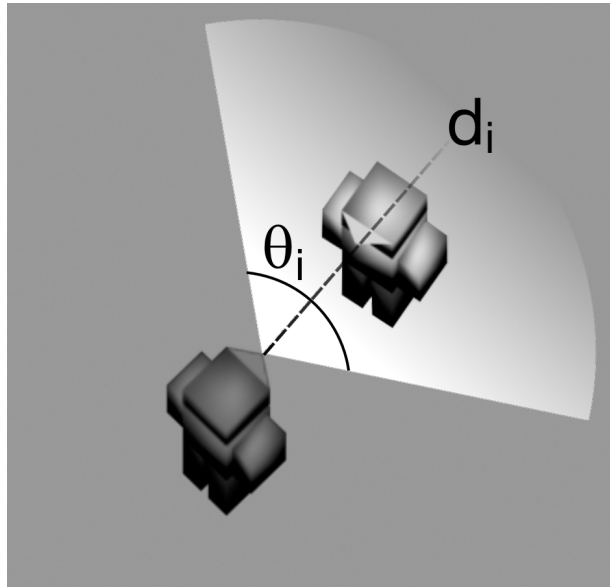


Figura 3.3. Região de percepção P_i de i -agente.

3.3.1.2. Aprendizado Social

Esta fase da simulação começa quando uma população de agentes é randomicamente distribuída em um mundo virtual tridimensional. No começo, os agentes locomovem-se trocando sua direção randomicamente a cada *frame*. Uma interação entre os i -agente e j -agente (I_{ij}) acontece quando um está dentro do campo de percepção do outro (Figura 3.4). Para cada interação entre os i -agente e j -agente, um ponto é adicionado a So_i e So_j . A qualidade de I_{ij} da interação entre i e j agentes é descrita por

$$I_{ij} = \frac{S_i C_i + S_j C_j}{C_i + C_j}.$$

Exemplificando, imagine que $S_i=0.9$, $C_i=0.7$ e $S_j=0.3$, $C_j=0.8$. Substituindo na equação acima tem-se :

$$I_{ij} = \frac{0.9 \times 0.7 + 0.3 \times 0.8}{0.7 + 0.8} = 0.58$$

O objetivo de ter o C (grau de comunicação) no cálculo da qualidade da interação é justificado pela hipótese que agentes mais comunicativos tendem a influenciar mais o

estado emocional dos outros. Os agentes são capazes de memorizar com quais agentes interagiram e os valores correspondentes de I_{ij} .

Os atributos S_i e S_j trocam a cada interação considerando sua qualidade e estado emocional anterior. O agente que tem o mais baixo valor de S entre os dois, irá crescer e o que tem o menor valor irá decrescer. Os novos S_i e S_j irão convergir para um mesmo valor. Abaixo, as equações onde S_i é maior que S_j :

$$S_i = S_i + (S_j - S_i)(1 - I_{ij}),$$

$$S_j = S_j + (S_i - S_j)(I_{ij})$$

Seguindo o mesmo exemplo anterior os novos estados emocionais dos agentes i e j após a relação são:

$$S_i = 0.9 + (0.3 - 0.9)(1 - 0.58) = 0.64$$

$$S_j = 0.3 + (0.9 - 0.3)(0.58) = 0.64$$

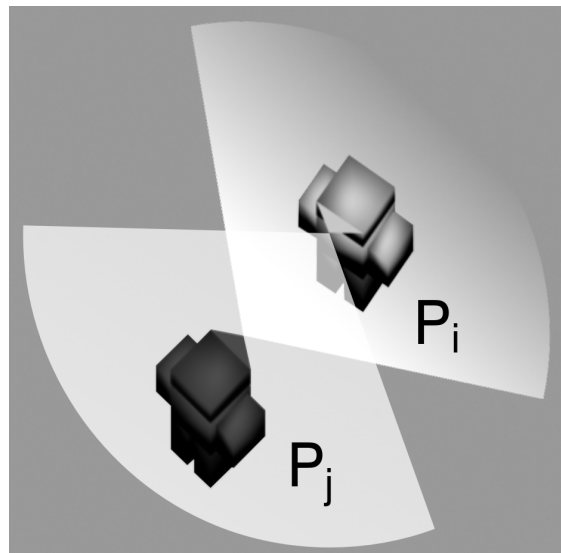


Figura 3.4. Interação. Os dois agentes estão percebendo um ao outro.

Todos os agentes seguem uma mesma linha evolucionária. Isto se desenvolve a medida que os agentes interagem com outros e são alterados seus níveis de conforto (Co_i), estado emocional (S_i) e níveis de sociabilidade (So_i) (Tabela 3.1). O nível de

conforto de um agente é descrito pela média das interações passadas e o estado emocional do mesmo:

$$Co_i = S_i \frac{\sum I_{ij}}{So_i}$$

A linha evolucionária do agente é dividida nos seguintes níveis:

- **Nível 1** - neste nível, os agentes possuem apenas as habilidades básicas, *mover-se, perceber, memorizar e interagir*. Eles relacionam-se com agentes que eles percebem, desde que também sejam percebidos. Ainda não são capazes de seguir outros agentes.
- **Nível 2** - neste nível, os agentes adquirem a habilidade de *seguir outros*. São capazes de seguir os agentes que percebem até que o outro o perceba também, acontecendo assim uma interação.
- **Nível 3** - os agentes percebem e seguem somente agentes com os quais ainda não tiveram interações. As habilidades adquiridas neste nível são: *acessar a memória e selecionar*. Acessam a memória neste estágio somente para saber se já interagiram com um determinado agente. Neste momento a qualidade da interação I_{ij} não é levada em consideração. Ou seja, apesar do agente ter gravada em sua memória como foi a qualidade da interação que teve com outro agente, neste momento ele consulta sua memória só para saber se já interagiu ou não com este outro agente.
- **Nível 4** - neste nível, os agentes adquirem a habilidade de agrupar-se formando grupos com aqueles que tiveram boas interações (I_{ij}). Cada grupo possui um líder que é seguido por todos os outros membros do grupo. Para tornar-se líder, o agente tem que possuir um $S_i > 0.6$. Quando mais de um agente possuir $S_i > 0.6$, o que chegar primeiro ao nível 4 será o líder do grupo. Veja um grupo na Figura 3.5.

Nível	$Co_i + S_i + So_i$	Habilidades
1	≤ 0.75	Mover-se, perceber, interagir, memorizar
2	> 0.75 e ≤ 1.5	Mover-se, perceber, interagir, memorizar e seguir
3	> 1.5 e ≤ 2.25	Mover-se, perceber, interagir, memorizar, seguir, acessar memória e selecionar
4	≥ 2.25	Mover-se, perceber, interagir, memorizar, seguir, acessar memória, selecionar e agrupar-se

Tabela 3.1 Níveis de evolução necessários para cada agente adquirir as habilidades relacionadas. As habilidades em negrito são as habilidades adquiridas em cada nível.

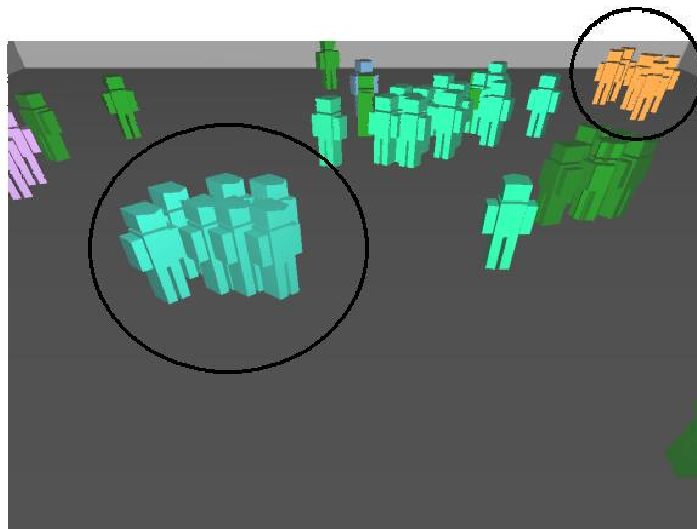


Figura 3.5. Grupo de agentes. Os agentes agrupados estão seguindo o líder.

3.3.1.3. Os grupos

As condições para dois agentes agruparem-se são:

- alcançarem o último nível de evolução
- terem uma boa qualidade de interação

Os grupos começam a existir a partir do momento que três agentes agrupam-se. Assim, já é possível obter-se KSI 's de grupo através da média dos KSI 's de todos os seus membros. A partir desta fase pode-se passar para a *Fase 2*, onde os grupos irão comportar-se de maneira competitiva tentando cooptar membros para o seu grupo. Outra possibilidade é, dado os cálculos de KSI 's de grupo, passar diretamente para a *Fase 3*, a fim de simular os comportamentos visuais dos grupos sem torná-los competitivos.

3.3.2. Fase 2: Grupos Competitivos baseados em Equações de Dinâmica de Populações

Como descrito na seção anterior, na primeira fase da simulação microscópica, os agentes evoluem até estarem preparados para agrupar-se. Quando dois grupos são formados com três agentes (mínimo necessário para ser considerado um grupo em um contexto sociológico), considera-se que estão preparados para competir. A competição consiste em conquistar mais agentes para o grupo, removendo-os dos agentes que não estão agrupados (GR) e dos agentes pertencentes ao outro grupo. O objetivo do uso das equações *Lotka-Volterra* é investigar, baseado em parâmetros de grupos, quais grupos sobreviverão.

3.3.2.1. Adaptação dos coeficientes para o nosso modelo

Os coeficientes das equações: $r_1, r_2, K_1, K_2, b_{12}, b_{21}$ são adaptados neste modelo de maneira a corresponder as informações KSI 's de grupo. Definimos os coeficientes de grupo em função das variáveis individuais encontradas no final da Fase 1. A seguir, são descritos cada um dos coeficientes:

- As definições adotadas para as taxas de crescimento linear r_1 e r_2 do Grupo 1 e Grupo 2 são

$$r_1 = \left[\frac{S_1}{S_R} \right] \left[\frac{v_2}{v_T} \right]^{-1} \left[\frac{d_2}{d_T} \right]^{-1} \left[\frac{\theta_2}{\theta_T} \right]^{-1},$$

$$r_2 = \begin{bmatrix} \overline{S_1} \\ \overline{S_R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{v_1} \\ \overline{v_T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \overline{d_1} \\ \overline{d_T} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \overline{\theta_1} \\ \overline{\theta_T} \end{bmatrix}^{-1}$$

onde os subscritos 1, 2, R e T dizem respeito a Grupo 1, Grupo 2, grupo dos agentes randômicos e total da população respectivamente. Os primeiros fatores das definições acima, são dados pela divisão das médias dos estados emocionais dos grupos (S_1) e (S_2) e a média dos estados emocionais dos agentes randômicos (S_R). Mais precisamente,

$$\frac{\overline{S_1}}{\overline{S_R}} = \frac{\frac{1}{N_1} \sum S_1}{\frac{1}{N_R} \sum S_R},$$

$$\frac{\overline{S_2}}{\overline{S_R}} = \frac{\frac{1}{N_2} \sum S_2}{\frac{1}{N_R} \sum S_R},$$

onde as somas abrangem todos os agentes do respectivo grupo, com os valores de N_1 , N_2 e N_R tomados no fim da Fase 1.

Os fatores subseqüentes são definidos da mesma forma.

- Os K 's são as taxas de coesão de cada grupo. Elas expressam a homogeneidade do grupo, que neste trabalho representam a característica dos membros de não se dissiparem facilmente. Os K 's são descritos pelo inverso do desvio padrão dos estados dos componentes dos grupos.

Relacionado ao *Grupo 1*:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{N_1} \sum [(S_1 - \overline{S_1})^2]},$$

Relacionado ao *Grupo 2*:

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{N_2} \sum [(S_2 - \overline{S_2})^2]},$$

- A medida do efeito competitivo, do *Grupo 2* no *Grupo 1* e do *Grupo 1* no *Grupo 2* são os coeficientes

$$b_{12} = \left[\frac{\overline{S_2}}{\overline{S_1}} \right] \left[\frac{\overline{v_2}}{\overline{v_T}} \right] \left[\frac{\overline{d_2}}{\overline{d_T}} \right] \left[\frac{\overline{\theta_2}}{\overline{\theta_T}} \right],$$

$$b_{21} = \left[\frac{\overline{S_1}}{\overline{S_2}} \right] \left[\frac{\overline{v_1}}{\overline{v_T}} \right] \left[\frac{\overline{d_1}}{\overline{d_T}} \right] \left[\frac{\overline{\theta_1}}{\overline{\theta_T}} \right]$$

3.3.2.2. Método Numérico para Solução das Equações Lotka-Volterra

A maioria das equações diferenciais ordinárias que representam aplicações do mundo real, não podem ser resolvidas com exatidão. Geralmente são analisadas qualitativamente (análise que mostra o comportamento das soluções numéricas através de um gráfico). Para a solução das equações *Lotka-Volterra*, usou-se o método *Euler* visto que apesar de não ser tão preciso como outros métodos, é um método básico e fácil para a solução de equações diferenciais [Press 1982]. Esta solução numérica, captura a *tendência* para a solução real e encontra valores para a solução em pontos específicos [ODE 2002]. Neste modelo, a precisão numérica não é tão importante como na física por exemplo, os dados representam quantificações de valores subjetivos (*KSI's*). Apesar disso, para evitar conclusões erradas, optou-se pelo valor $\Delta t = 0.001$ para cada iteração.

3.3.3. Fase 3: Comportamento de Grupos

Esta fase tem dois objetivos principais: gerar comportamentos visuais para indivíduos e grupos e gerar parâmetros individuais para as entidades (*KSI's* individuais) no caso de especificações macroscópicas, onde eles não são informados.

Nesta fase, ações baixo nível são geradas para os indivíduos ou grupos baseados em seus *KSI*'s. Ações baixo-nível se traduzem por:

- Orientação
- Posição
- Mudança de estado

3.3.3.1. Comportamentos visuais

Para gerar comportamentos visuais para indivíduos e grupos, foram coletados alguns dados através da observação de multidões filmadas usando a convenção proposta no anexo A [Villamil, 2001] com a intenção de investigar quais padrões de grupo acontecem. Na Figura 3.6 vê-se um exemplo de utilização das convenções em uma multidão real filmada.



Figura 3.6. Neste caso observa-se 2 pessoas interagindo demonstrado pelo símbolo de interação. Um ponto de encontro pode ser identificado tanto quanto um grupo de pessoas conversando. Dois trabalhadores e um grupo de três pessoas caminhando juntas foram reconhecidos.

O objetivo nesta fase é associar padrões de *KSI* com padrões associados a movimento interno ou *flocking* - segundo Reynolds [1987], *flocking* refere-se a um exemplo particular de emergência que pode surgir da interação de simples regras locais. No caso deste trabalho, refere-se a habilidade do grupo de mover-se em um movimento estruturado onde os agentes de um mesmo grupo possuem velocidades similares, procurando atingir os mesmos objetivos. Este comportamento é responsável pela formação de alguns movimentos de grupo no mundo real (ex.: grupo de pássaros).

Quando um grupo é formado, a taxa de coesão é visualmente representada pela formação espacial dos membros do grupo. Todos agentes do grupo seguem um líder na figura geométrica descrita por um ângulo e distância (Figura 3.7). O líder é o agente localizado no vértice da figura geométrica e caminha randomicamente selecionando outros agentes para agrupar-se (Fase1). É em função da coesão que os grupos são classificados em fixos, temporários e dinâmicos representados pelas Figuras 3.17, 3.18 e 3.19 respectivamente. Os grupos estáticos são caracterizados por uma taxa de coesão acima de 400, os grupos temporários caracterizam-se por sua coesão variando entre 100 e 400 e os grupos com coesão abaixo de 100 são grupos considerados dinâmicos.

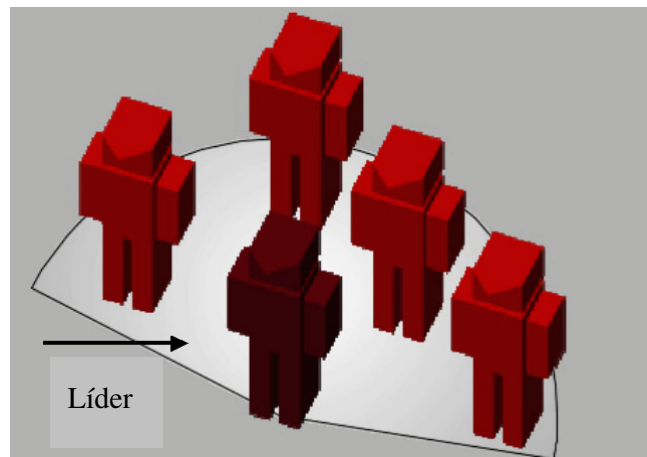


Figura 3.7. Os agentes estão seguindo o líder dentro de uma distância e ângulo que caracterizam a coesão do grupo.

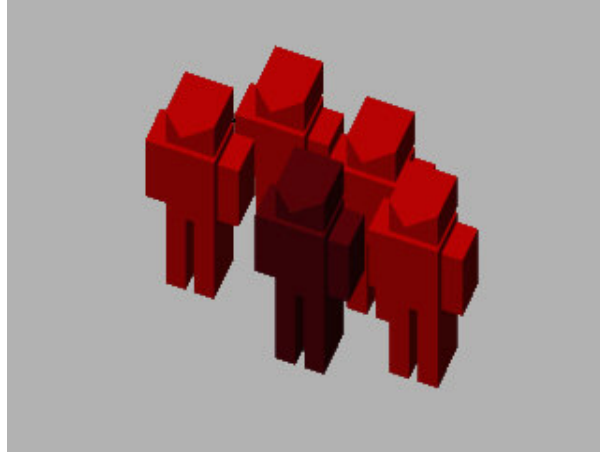


Figura 3.8. Grupo com alta taxa de coesão (Estáticos).
Os agentes caminham perto do líder e dos outros.

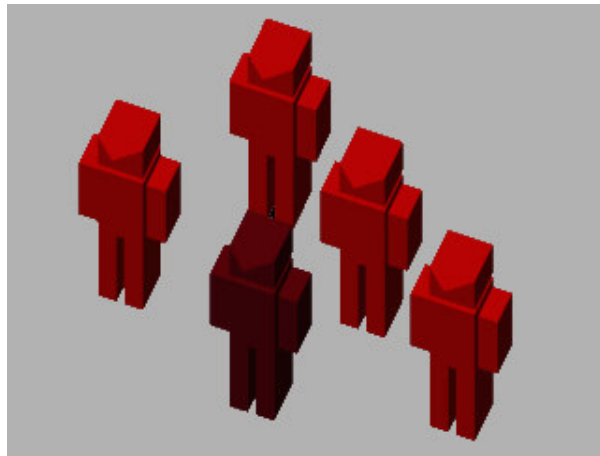


Figura 3.9. Grupo com média taxa de coesão (Temporários).

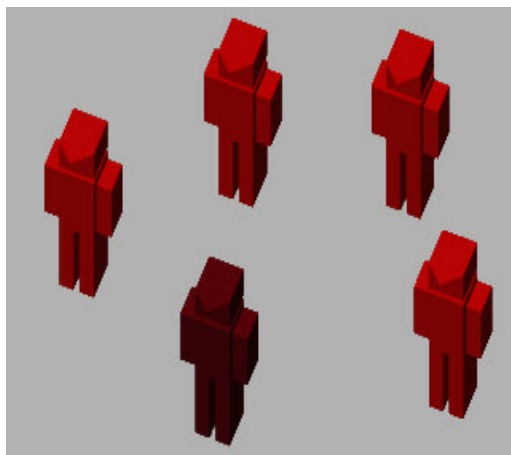


Figura 3.10. Grupo com baixa taxa de coesão (Dinâmicos).
Os agentes caminham distantes uns dos outros.

3.3.3.2. KSI's Individuais

Para gerar *KSI's* individuais, usou-se os coeficientes das equações *Lotka-Volterra* adaptados ao modelo.

$$r_1 = \frac{\overline{S_1}}{\overline{S_R}}, \quad \overline{S_R} = \frac{\overline{S_1}}{r_1},$$

Considerando $\overline{S_2}$ então

$$b_{12} = \frac{\overline{S_2}}{\overline{S_1}}, \quad \overline{S_2} = b_{12} \overline{S_1},$$

encontrou-se a proporção entre os termos:

$V = \{(\overline{S_1}, b_{12} \overline{S_1}, r_1^{-1} \overline{S_1}), S_1 \in \mathfrak{R}\} = [(1, b_{12}, r_1^{-1})]$. Sendo assim, conhecendo-se o $\overline{S_1}$, acha-se $\overline{S_2}$ e $\overline{S_R}$ que representam as médias dos S do grupo 1, 2 e aleatórios. Através de uma distribuição normal com estas médias e um desvio padrão de 0.1, atribui-se os S 's para os integrantes do Grupo 1, Grupo 2 e agentes aleatórios, gerando assim, individualidades. A discussão sobre esta fase é apresentada na Seção 4.3.

3.4 Protótipo

O modelo foi implementado em linguagem C++ e é composto dos seguintes módulos (Figura 3.13):

- **Entrada** : a entrada de dados para o sistema ocorre através de um arquivo texto contendo um script. Neste módulo, o arquivo é lido e pode servir como entrada para as Fases 1, 2 e 3. O script poderá conter alguns dos itens relacionados abaixo dependendo da abordagem que o usuário quiser dar à simulação (micro ou macroscópica):
 - Número de agentes da simulação (microscópica)
 - Quantidade de grupos (macroscópica)
 - Quantidade de agentes em cada grupo (macroscópica)
 - Quais valores de *KSI's* serão aplicados aos indivíduos (microscópica) ou aos grupos (macroscópica).
 - Posicionamento inicial da população no ambiente
 - Qual parte do módulo de saída será usado: arquivo, visualizador ou ambos.

Veja um exemplo de arquivo script para uma simulação macroscópica no Anexo C.

- **Fase 1:** os agentes aprendem como comportar-se socialmente para agruparem-se. A entrada para esta fase pode ser através do módulo de entrada (arquivo script) com informação de *KSI's* individuais ou fase 3 que gera *KSI's* individuais. Além disso, as fases 1 e 3 podem alterar *KSI's* individuais através das relações estabelecidas com outros agentes nestas fases.
- **Fase 2:** nesta fase, os agentes estão agrupados e comportam-se competitivamente. A entrada para esta fase, pode ser através de *KSI's* de grupo gerados via script, gerados na Fase 1 ou ainda modificados na própria Fase 2. As saídas desta fase, constituem de mudança de *KSI's* de grupo que podem ser entrada para a Fase 3 ou para a própria Fase 2.

- **Fase 3:** aqui são geradas ações baixo-nível (mudança de orientação, posição e estados) para os agentes que passam a comportar-se visualmente de acordo com suas especificações). As entradas para esta fase constituem-se de *KSI's* de grupos oriundos do script do usuário (macroscópica) e de *KSI's* gerados na Fase 1 e/ou Fase 2. A saída desta fase, é para o módulo de saída e no caso de abordagem macroscópica, vai gerar *KSI's* individuais caso não sejam informados.
- **Módulo de Saída:** O módulo de saída é composto de dados textuais e gráficos a escolha do usuário:
 - Arquivo de Saída: é um simples arquivo de modo texto com informações de *KSI's* de grupos e indivíduos em função dos frames. Veja um exemplo no Anexo B.
 - Visualizadores: a simulação será observada através de dois visualizadores:
 - *Caterva*: é um simulador simples baseado em OpenGL [Woo 1996]. Os modelos (agentes e cenário) são lidos de arquivos formato OBJ [Wavefront 1991]. *Caterva* foi projetado para mostrar um grande número de agentes. Os modelos 3D usados são muito simples e possuem baixo número de polígonos. É limitado a receber e mostrar a posição, orientação e cor dos agentes. A visualização do modelo é através de um número pré-definido de agentes movendo-se em um plano. A visualização de qual estágio de evolução cada agente se encontra ou qual ação ele está realizando é definido através de cores diferenciadas (Figura 3.11).
 - *RTKrowd*: é um visualizador em tempo-real mais complexo que o *Caterva*, capaz de exibir modelos mais sofisticados com mais polígonos, materiais e texturas. O *RTKrowd* gera trajetórias contínuas a partir de posições discretas disponíveis

na memória compartilhada. Além disso, os agentes do RTKrowd são capazes de executar seqüências de animação. Este visualizador é baseado na biblioteca RTK Motion, da SoftImage [2002] (Figura 3.12).

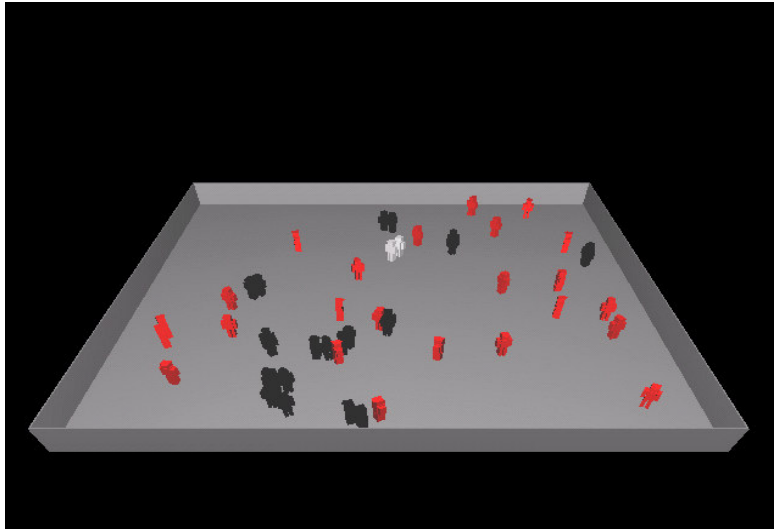


Figura 3.11. Visualizador Caterva



Figura 3.12. Visualizador RTKrowd.

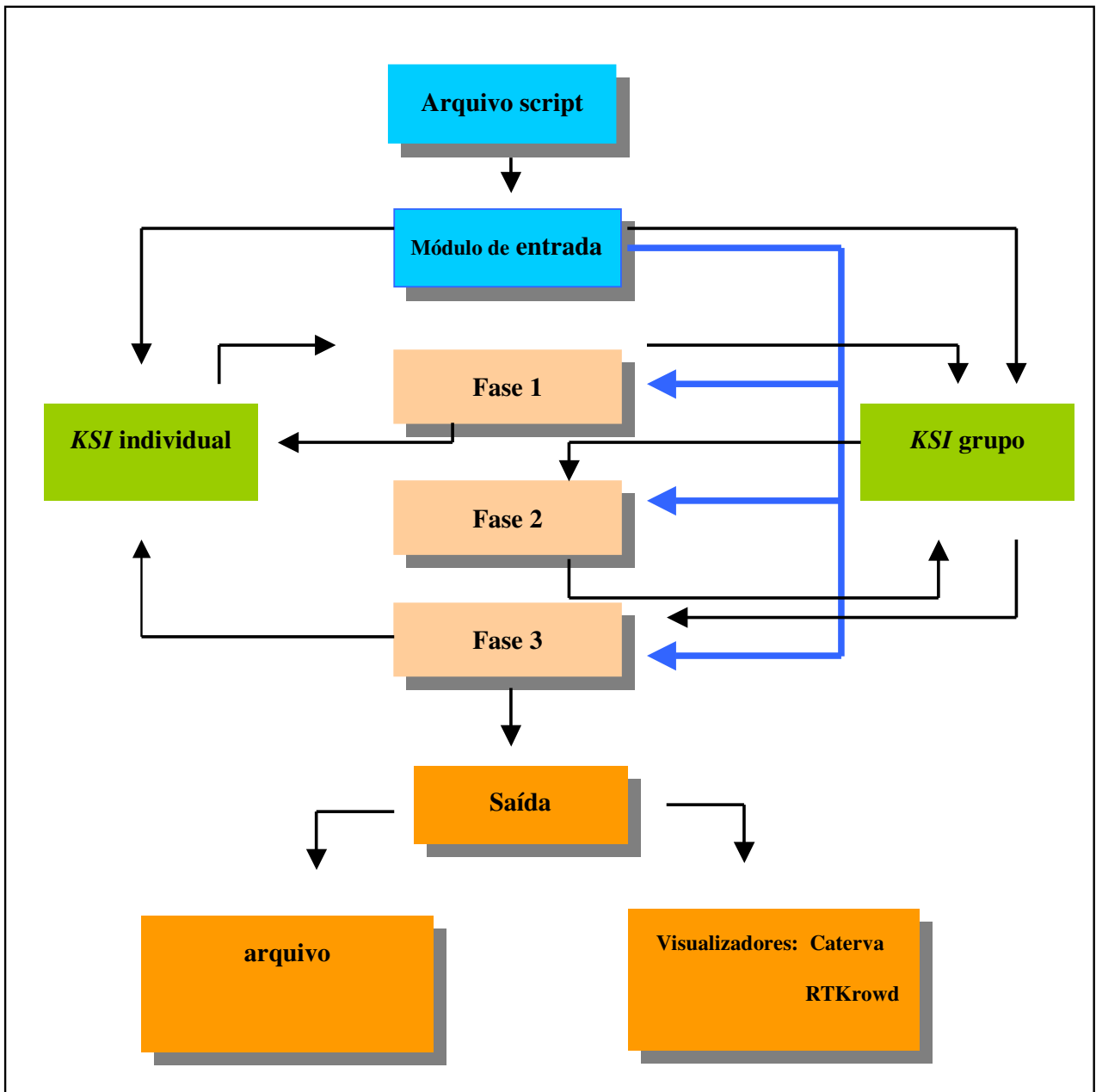


Figura 3.13. Simulador de grupos.

4 Resultados

Os resultados foram obtidos em relação as Fases 1, 2 e 3 do modelo. Em relação a Fase 1, buscou-se resultados para descrever características de grupos que emergiram em função de interações de agentes e de seus parâmetros individuais. Já em relação a Fase 2, procurou-se responder com que frequência os casos de dinâmica de populações ocorreram, além de ter sido implementado um estudo de caso visando modelar a influência do treinamento de líderes e dos grupos em uma situação de pânico em que houvesse a necessidade de evacuação de pessoas de um ambiente. Na Fase 3, o objetivo foi gerar e analisar individualidades baseadas em parâmetros de grupos informados pelo usuário na abordagem macroscópica.

4.1 Resultados relativos a Fase 1

Realizou-se simulações de 3 tipos na Fase 1. A primeira, expõe o impacto de agentes que trocam seu estado emocional (S) a cada interação em relação a agentes que possuem seu estado emocional fixo (não modificam seu estado emocional durante a simulação). A interpretação deste efeito, descreve a influência de alguns agentes em outros. Definimos o conceito de agentes “flexíveis” para os que são influenciados por outros e “não flexíveis” para os que não modificam seu estado emocional durante a simulação. O segundo tipo de simulação visa descrever o impacto de diferentes tipos de distribuição de população inicial na coesão dos grupos emergentes. O terceiro grupo de simulações analisadas, discute a emergência de uma multidão homogênea (considerando toda a população como um único grupo) em função de valores de S convergentes. Neste caso a coesão tende ao infinito porque ao final da simulação todos os agentes possuem o mesmo estado emocional.

4.1.1. O Impacto de Agentes “Flexíveis” x “Não Flexíveis”

Neste caso realizou-se 8 simulações (4 para agentes flexíveis e 4 para agentes não flexíveis) usando uma distribuição uniforme de S 's para toda a população. Comparando os valores de coesão de grupos resultantes, observou-se que agentes “flexíveis” obtêm os maiores valores em oposição aos agentes “não flexíveis”. Pode-se interpretar os efeitos de “sharing” (similaridade de idéias) e “polarization” (divergência de idéias) [Benesch, 1995] como valores altos e baixos de coesão respectivamente. As 4.1 e 4.2 e mostram os valores de coesão obtidos para agentes “flexíveis” e “não flexíveis”, respectivamente. As sementes aleatórias usadas nas duas figuras são as mesmas. A variação de coesão de uma semente para outra pode ser explicada pela quantidade de integrantes no grupo que é fortemente dependente do processo estocástico. Grupos maiores tendem a ter uma mais baixa coesão devido ao alto desvio padrão dos estados emocionais dentro do grupo.

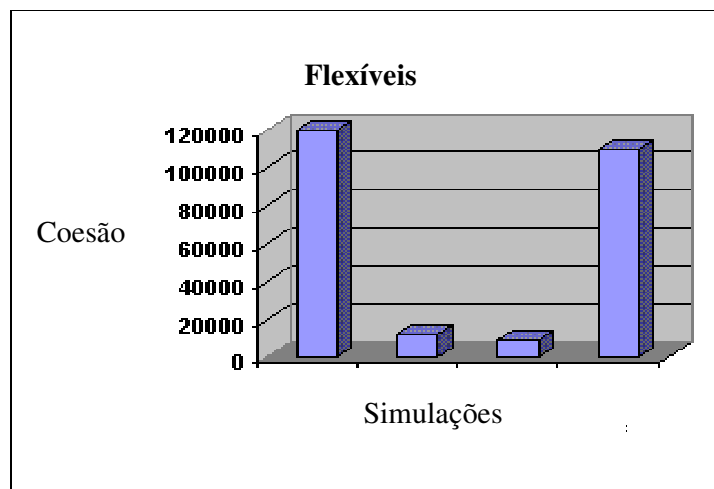


Figura 4.1. Uma população que modifica seus estados emocionais tende a ter os valores de coesão de seus grupos maiores.

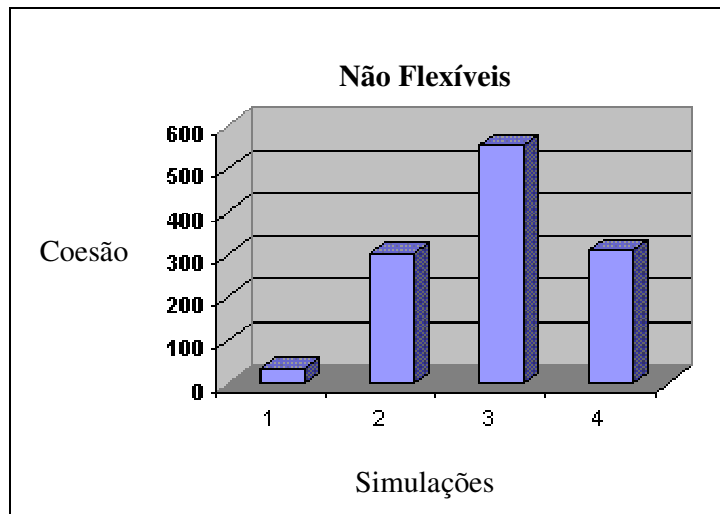


Figura 4.2. Uma população que não modifica seus estados emocionais tende a possuir baixos valores de coesão para seus grupos. Note que a escala da Figura 4.1 é diferente desta (12000 X 600).

4.1.2. O Impacto da Distribuição da População Inicial

Realizou-se 30 simulações com uma distribuição Gaussiana variando o desvio padrão em 3 diferentes valores. As Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 mostram esta variação que controla a heterogeneidade dos agentes.

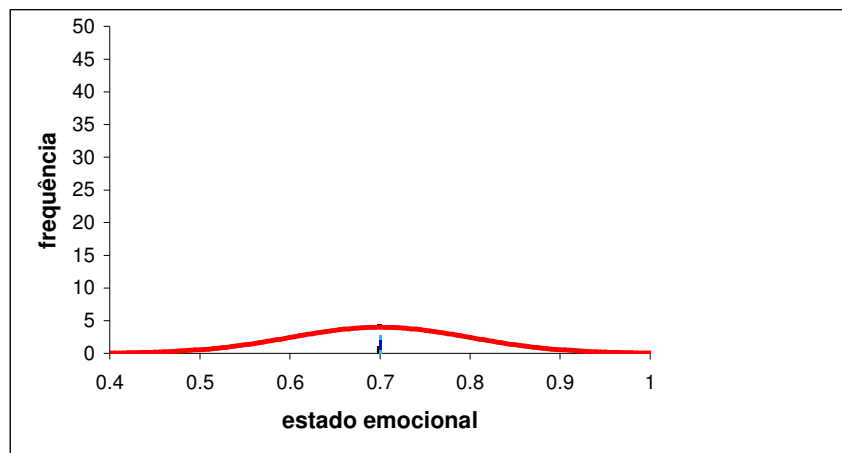


Figura 4.3. Distribuição Gaussiana com média de estados emocionais=0.7 e desvio padrão=0.1.

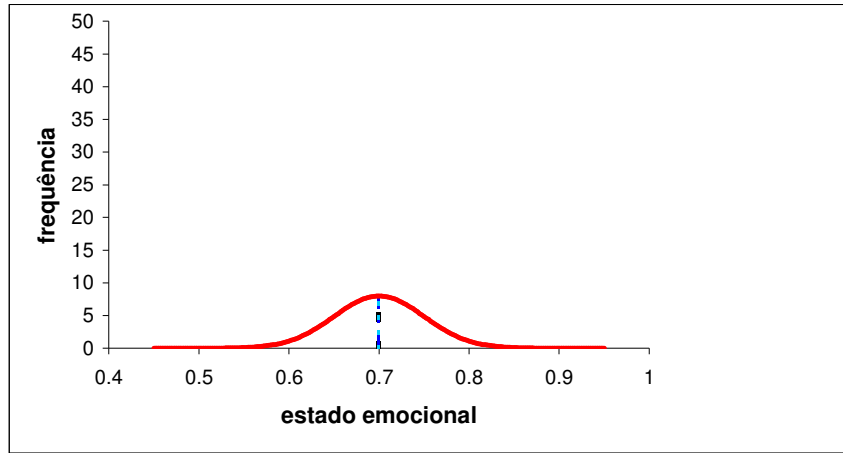


Figura 4.4. Distribuição Gaussiana com média de estados emocionais=0.7 e desvio padrão=0.05.

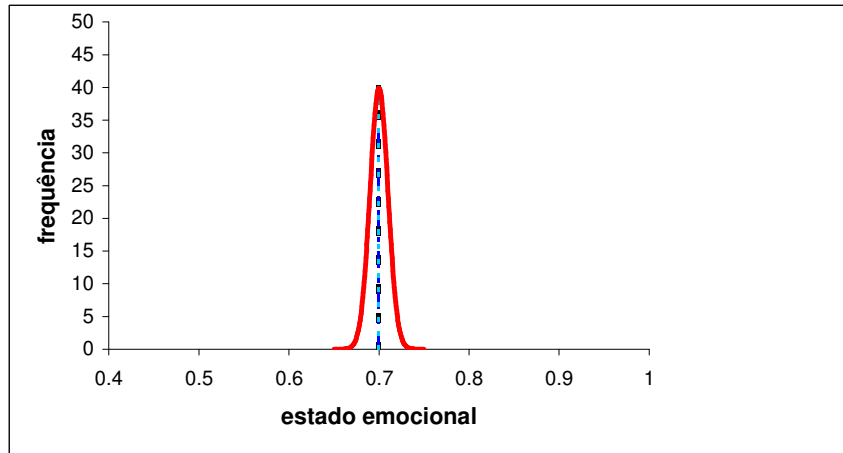


Figura 4.5. Distribuição Gaussiana com média de estados emocionais=0.7 e desvio padrão=0.01.

Como observou-se na Figura 4.6, quando o desvio padrão decresce, as taxas de coesão crescem, concluindo-se assim que, quanto a maior a homogeneidade da população, maior as taxas de coesão obtidas.

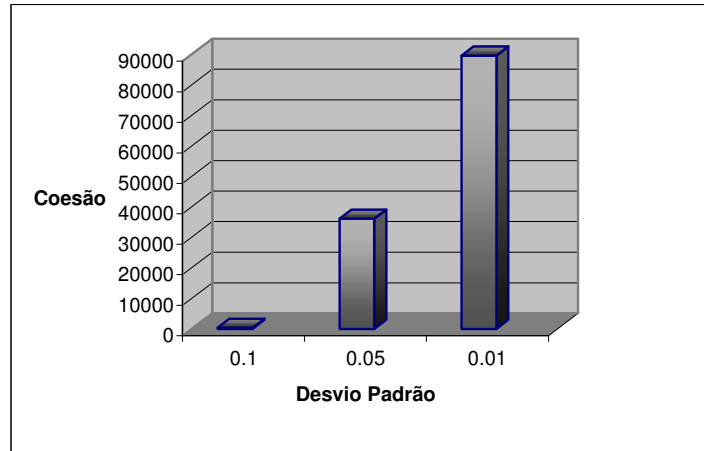


Figura 4.6. Simulações com média de estado emocional=0.7. Se o desvio padrão decresce (população mais homogênea), as taxas de coesão dos grupos aumentam.

4.1.3. Emergência de Parâmetros de Multidão

Neste caso, o objetivo não é formar diversos grupos portanto, a possibilidade de emergir líderes foi inibida. Assim, visa-se investigar uma população inicial bastante heterogênea que modifica seus estados individuais até tornar-se homogênea através de diversas interações entre os agentes. Esta é a abordagem de agente flexíveis presente no modelo. Uma importante característica no comportamento de multidões: os agentes perdem suas individualidades e comportam-se de acordo com os parâmetros da multidão. A Figura 4.7 mostra uma população bem heterogênea (estados emocionais variando entre [0,1]) na iteração 0 e, conforme os agentes interagem trocam seus estados, homogeneizando-se durante a simulação. Observa-se que próximo a iteração 800, todos os agentes tem o mesmo estado emocional e o grupo tem coesão máxima.

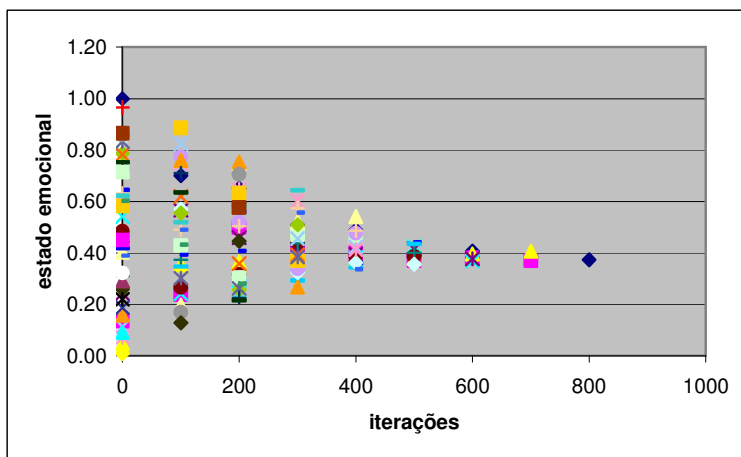


Figura 4.7. Uma população heterogênea torna-se uma multidão homogênea.

4.2 Resultados Relativos a Fase 2

Na *Fase 2*, o objetivo é investigar a ocorrência dos casos de dinâmica de população dado uma distribuição uniforme. Alguns resultados foram alcançados baseados em 200 simulações considerando os casos da trajetória de fases explicados na *Seção 2.4*, nossos resultados foram os seguintes:

Aconteceram todas as possibilidades de dinâmica de populações. Casos A,B,C e D (Figura 4.8).

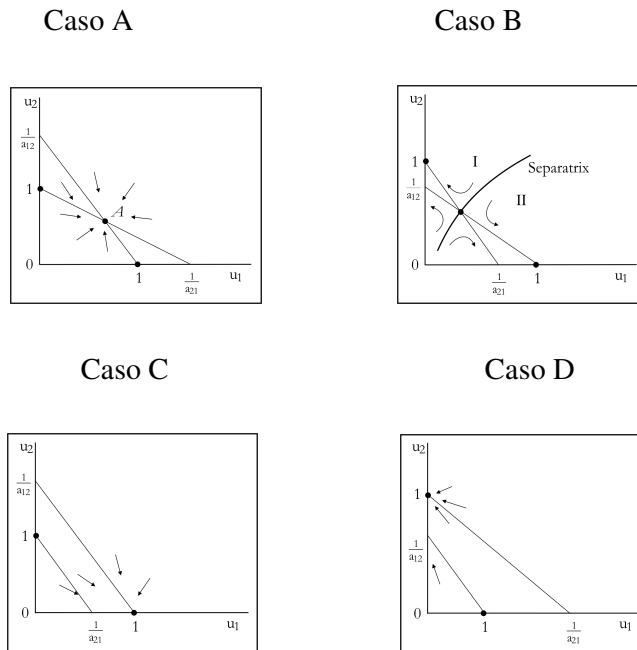


Figura 4.8. Casos que ocorrem em uma dinâmica de população dado 2 grupos concorrentes.

- O caso A ocorreu 6 vezes, o que representa que a competição entre os grupos não foi tão agressiva e os dois grupos simplesmente se ajustaram a um baixo tamanho de população. Isto significa que os dois grupos coexistirão.
- O caso B ocorreu 37 vezes. Isto significa que nestas simulações os resultados dependeram da vantagem inicial que cada grupo teve.
- O caso C ocorreu em 36 simulações significando que o *Grupo 1* cresceu e o *Grupo 2* extinguiu-se.
- O caso D ocorreu em 121 simulações significando que a probabilidade de crescimento do *Grupo 2* é maior que o outro grupo.

Para um melhor comparativo veja Figura 4.9.

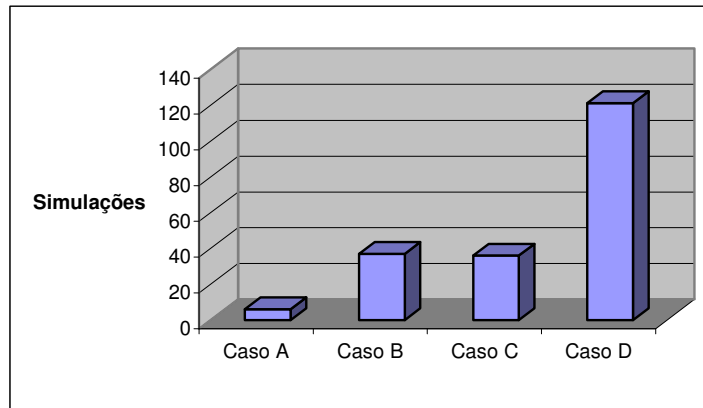


Figura 4.9. Comparativo entre quantidade ocorrida para cada caso da dinâmica de populações em 200 simulações.

4.2.2. Estudo de Caso

Este estudo de caso visa simular uma multidão durante uma situação de pânico. Consideramos uma população vivendo em uma área de risco com lugares contendo substâncias perigosas (reatores nucleares, substâncias químicas e explosivas, etc.). Investiga-se em uma situação de emergência, se um esquema de treinamento incrementaria ou não, o número de pessoas salvas. Aqui considera-se um esquema de treinamento onde há apenas dois líderes para guiar toda população na fuga dos locais perigosos. Os dois líderes emergem da Fase 1 com base em seus *KSI's* individuais e interações com os outros agentes. Os dois agentes mais evoluídos em termos de estado emocional e interações passadas com outros serão eleitos líderes para serem treinados. Quando uma situação de emergência começa, os grupos são formados mas, no começo, nenhum efeito competitivo mostra-se importante. Quando dois grupos com três ou mais agentes emergem, comportamentos competitivos são adotados. Este fato implica que os indivíduos necessitam escolher qual líder seguirão baseados tanto no grau de treinamento do líder quanto nos parâmetros de grupo (Figura 4.10).

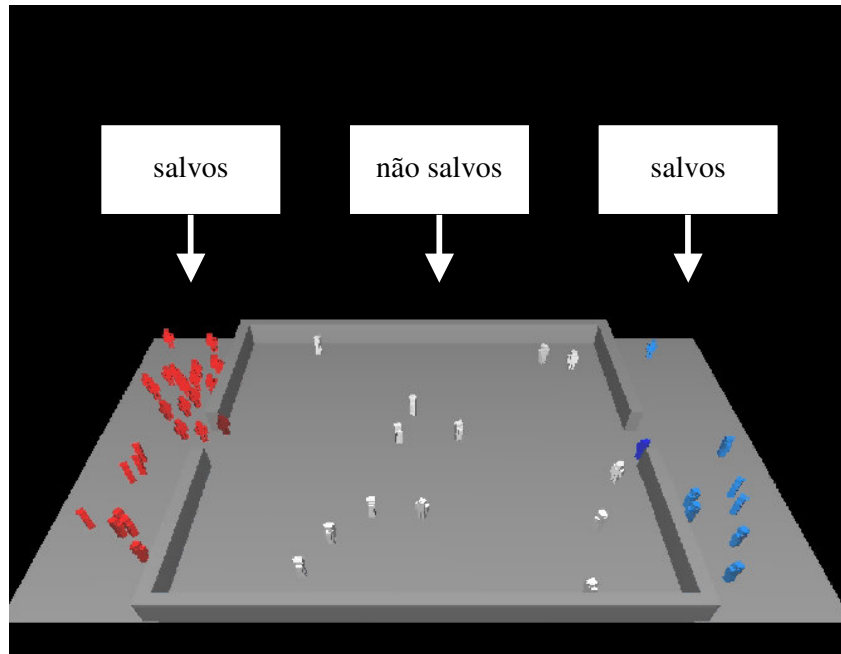


Figura 4.10. Os agentes vermelhos pertencem ao Grupo 1 e os azuis ao Grupo 2. Os agentes vermelho escuro e azul escuro parados na passagem são os líderes guiando os agentes indecisos (brancos). Ao final da simulação, 74 % dos agentes foram salvos (15000 iterações correspondente a 15 minutos de evacuação).

O modelo da influência do treinamento dos líderes é representado pelo parâmetro T que varia no intervalo $(0,1]$. Líderes bem treinados correspondem a T perto de 0, enquanto líderes não treinados correspondem a $T = 1$. Esta hipótese considera que o treinamento de líderes é importante para a coesão de seu respectivo grupo, já que um líder bem treinado impõe respeito e confiança a membros do grupo, suprimindo desentendimentos internos e polarização do grupo. Por conseguinte, redefinimos os coeficientes de coesão:

$$K = \frac{1}{T \frac{1}{N} \sum [(S - \bar{S})^2]},$$

Na análise que segue, definiu-se que os dois líderes seguem caminhos corretos para salvamento. Sendo assim, com um total de 200 agentes, aqueles que seguiram alguns dos

líderes dentro do tempo máximo para evacuação (15000 iterações), salvaram-se. Realizou-se 10 diferentes simulações, usando 10 diferentes sementes aleatórias para a configuração inicial da Fase 1. O parâmetro T assumiu três valores: 1.0, 0.5 e 0.1 que significam líderes não treinados, parcialmente e bem treinados respectivamente. As Tabelas 4.2, 4.3 e 4.3 mostram os coeficientes de grupo computados para as diferentes sementes e valores de T . Para todos os valores de T , o caso da dinâmica A ocorreu somente para a semente 3 e o caso da dinâmica B ocorreu para as sementes 5 e 9. Todas as outras sementes resultaram no Caso D. Não houve casos da dinâmica C.

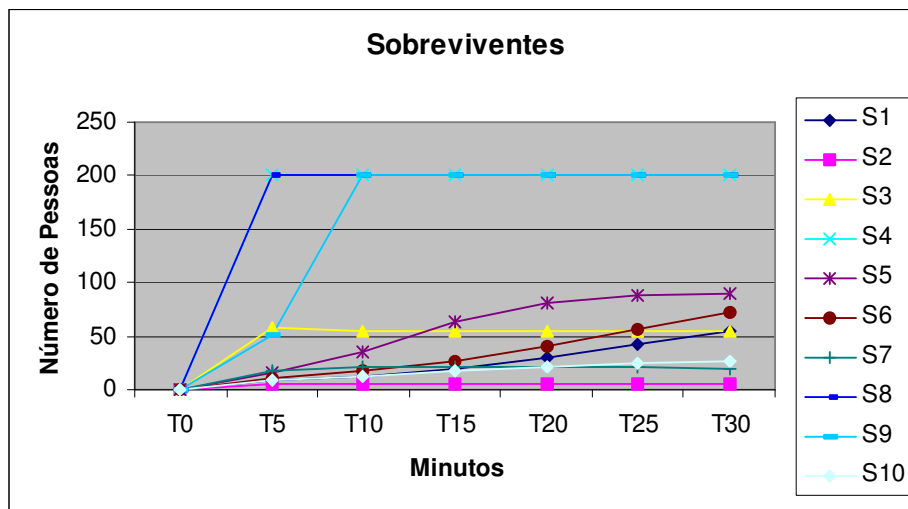


Figura 4.11. Simulações com líderes não treinados ($T=1.0$)

Semente	Dinâmica	b_{12}	b_{21}	r_1	r_2	K_1	K_2
S1	D	2.215	10.861	0.004	0.176	1184.200	117.955
S2	D	1.072	4.658	0.005	0.303	234.776	15.879
S3	A	0.000	1.280	41.982	1.209	43.457	66.405
S4	D	0.019	1.226	0.493	1.412	551.875	257.721
S5	B	3.986	3.654	0.002	0.320	36.397	99.668
S6	D	1.109	10.124	0.008	0.170	189.474	138.229
S7	D	0.278	3.061	0.024	0.570	116.959	33.170
S8	D	0.002	0.985	4.217	1.895	393.012	54.193
S9	B	3.981	2.815	0.002	0.598	188.253	347.490
S10	D	0.9180	6.4247	0.0069	0.2481	117.9550	48.0000

Tabela 4.1 Coeficientes Gerados com simulações com líderes não treinados (T = 1.0).

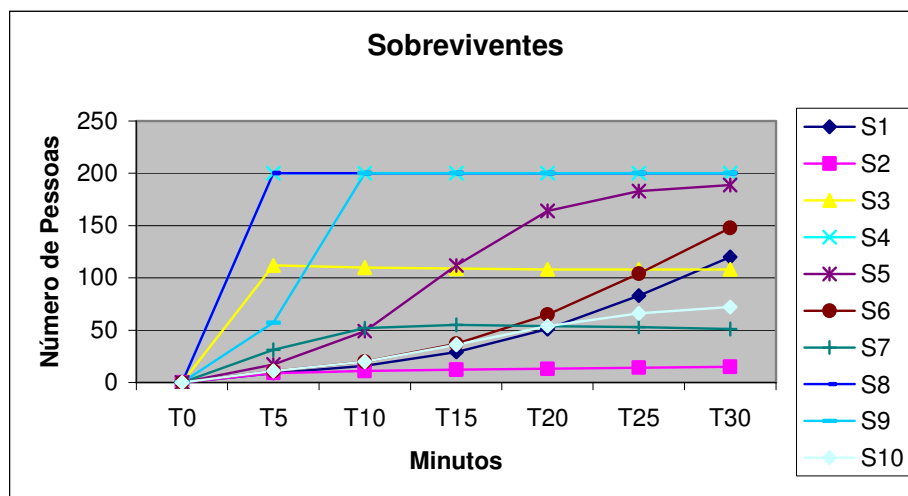


Figura 4.12. Simulações com líderes parcialmente treinados (T=0.5).

Semente	Dinâmica	b_{12}	b_{21}	r_1	r_2	K_1	K_2
S1	D	2.215	10.861	0.004	0.176	2368.390	235.911
S2	D	1.072	4.658	0.005	0.303	469.551	31.757
S3	A	0.000	1.280	41.982	1.209	86.915	132.810
S4	D	0.019	1.226	0.493	1.412	1103.750	515.441
S5	B	3.986	3.654	0.002	0.320	72.793	199.335
S6	D	1.109	10.124	0.008	0.170	378.947	276.457
S7	D	0.278	3.061	0.024	0.570	233.918	66.339
S8	D	0.002	0.985	4.217	1.895	786.023	108.386
S9	B	3.981	2.815	0.002	0.598	376.505	694.978
S10	D	0.918	6.425	0.007	0.248	235.911	96.000

Tabela 4.2 Coeficientes Gerados com simulações com líderes parcialmente treinados ($T = 0.5$).

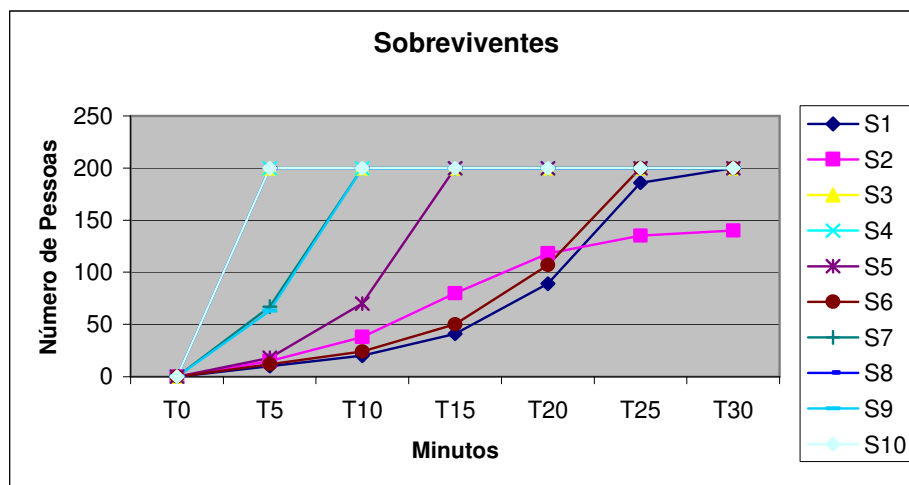


Figura 4.13. Simulações com líderes bem treinados ($T=0.1$).

Semente	Dinâmica	b_{12}	b_{21}	r_1	r_2	K_1	K_2
S1	D	2.215	10.861	0.004	0.176	11841.400	1179.550
S2	D	1.072	4.658	0.005	0.303	2347.730	158.786
S3	A	0.000	1.280	41.982	1.209	434.572	664.051
S4	D	0.019	1.226	0.493	1.412	5518.610	2577.180
S5	B	3.986	3.654	0.002	0.320	363.967	996.673
S6	D	1.109	10.124	0.008	0.170	1894.720	1382.280
S7	D	0.278	3.061	0.024	0.570	1169.580	331.696
S8	D	0.002	0.985	4.217	1.895	3930.050	541.928
S9	B	3.981	2.815	0.002	0.598	1882.510	3474.840
S10	D	0.918	6.425	0.007	0.248	1179.550	479.999

Tabela 4.3 Coeficientes Gerados com simulações com líderes bem treinados ($T = 0.1$).

A seguir, são discutidos os resultados obtidos.

- Líderes não treinados ($T's = 1.0$) – na média, 80 agentes sobreviveram (40% da população total). Já para um tempo de evacuação de 30 minutos, sobreviveriam uma média de 92 pessoas (46% da população total) (Figura 4.11, Tabela 4.1)
- Líderes parcialmente treinados ($T's = 0.5$) – neste caso, 99 agentes sobreviveriam (49.5% da população total). Para um tempo de evacuação de 30 minutos, 130 agentes sobreviveriam (60% do total da população) (Figura 4.12, Tabela 4.2).
- Líderes bem treinados ($T's = 0.1$) – usou-se $T's = 0.1$ ao invés de $T's = 0$, com o objetivo de evitar a divisão por 0. Neste caso, 157 agentes sobreviveram para um tempo de evacuação de 15 minutos (78.7% da população total). Enquanto que

para um tempo de evacuação de 30 minutos, 192 agentes sobreviveram (97% da população total) (Figura 4.13, Tabela 4.3).

A seguir serão analisados o melhor e pior caso.

A semente S2, com líderes bem treinados na Figura 4.13 e Tabela 4.3, apesar da média taxa de coesão, somente 140 pessoas sobrevivem em 30 minutos. Este fato pode ser explicado porque somente o Grupo 1 sobreviveria (Dinâmica D) mas a taxa de crescimento (r_1) e a taxa de competição (b_{12}) não possui valores tão altos comparados a r_2 e b_{21} . Por outro lado, como apresentado na Figura 4.11 e Tabela 4.1 apesar do não treinamento dos líderes, a semente S8 representa uma boa configuração inicial. Interpreta-se que neste caso uma situação de emergência seria superada mais facilmente.

4.3 Resultados relativos a Fase 3

Os resultados esperados nesta fase visam encontrar as individualidades que estão relacionadas a determinado tipo de grupo (abordagem macroscópica). Foram seguidos dois passos para atingir este objetivo:

1. Simulou-se uma população de 50 agentes com abordagem microscópica obtendo-se coeficientes de grupo.
2. Utilizou-se os coeficientes de grupo em uma abordagem macroscópica visando encontrar as individualidades dos agentes.

No passo 1, os dados obtidos relativos ao Grupo 1 foram: a taxa de competitividade (b_{12}) = 0.95, a taxa de crescimento (r_1) = 1.02 e a média dos estados emocionais do Grupo 1 ($\overline{S_1}$) = 0.79. Veja Tabela 4.4 com os S 's individuais de 3 agentes dos Grupos 1 e 2 e a grupo dos aleatórios (GR), bem como as médias.

Agente	Grupo1	Grupo2	Aleatórios
1	0.75	0.69	0.83
2	0.80	0.77	0.70
3	0.80	0.79	0.80
n
Média	0.80	0.79	0.81

Tabela 4.4 Individualidades encontradas na abordagem microscópica.

No passo 2, através de uma abordagem macroscópica, gerou-se dois grupos com exatamente o mesmo número de integrantes dos grupos obtidos no passo 1. Fixou-se a taxa de competitividade e crescimento do Grupo 1 exatamente iguais as taxas encontradas na abordagem microscópica ($b_{12}=0.95$ e $r_1=1.02$)

Sendo assim, conforme explicado na Fase 3 do modelo (Seção 3.3.3), após aplicar uma distribuição normal com desvio padrão = 0.1, encontrou-se as seguintes individualidades (S 's) para os integrantes do Grupo1 e Grupo 2 e agentes aleatórios.

Agente	Grupo1	Grupo 2	Aleatórios
1	0.94	0.90	0.80
2	0.86	0.78	0.78
3	0.68	0.69	0.79
<i>n</i>
Média	0.81	0.78	0.80

Tabela 4.5 Abordagem macroscópica.

Note que os S 's gerados para a população no passo 1 não são iguais aos S 's gerados no passo 2. Veja Tabelas 4.5 e 4.6. com o exemplo de individualidades de 3 agentes na abordagem micro e macroscópica. Alcançou-se as médias similares de S 's para os grupos e agentes aleatórios.

5 Conclusões

Este trabalho propõe um paradigma para modelagem e visualização de grupos de entidades virtuais usando um modelo sociológico baseado em regras e dinâmica de população. Este novo paradigma apresentado usa, na abordagem microscópica, um sistema de recompensas para gerar comportamentos sociais para as entidades, tornando-as hábeis a formar grupos (como na vida real, onde as pessoas agrupam-se com quem tem afinidades e boas interações). Os grupos formados possuem suas próprias características baseadas nas individualidades de seus membros. Já na abordagem macroscópica, busca-se encontrar as individualidades de determinada população baseada nos parâmetros de seus grupos. Uma vez que existam grupos, as equações de dinâmica de populações são aplicadas para gerar competitividade entre eles. São ainda gerados alguns comportamentos visuais para indivíduos e grupos baseados em seus parâmetros através de dois tipos de visualizadores com diferentes níveis de resolução.

Apesar do modelo possibilitar a investigação de vários tipos de simulações e termos implementado um estudo de caso de uma situação específica, ele não visa representar de forma acurada uma aplicação particular empírica. Em vez disso, o objetivo deste tipo de modelo é propor um novo paradigma hierárquico que controla a geração de grupos através de indivíduos e vice-versa.

Foram apresentados os resultados de simulações que concluíram que grupos de agentes “flexíveis” (mudam de estado emocional a cada interação) tendem a serem mais coesos. Nas simulações em que os estados emocionais da população inicial são heterogêneos e os agentes são “inflexíveis” os grupos formados possuem uma baixa taxa de coesão. E, populações onde não são formados grupos e os agentes são flexíveis, tornam-se completamente homogêneas através das interações entre seus membros. Uma possível aplicação para esta parte do trabalho seria uma ferramenta de auxílio no estudo de que tipos de coesão de grupo são obtidas a partir de determinadas individualidades. Podemos imaginar, por exemplo, um jogo onde batalhas feitas entre populações

“emergentes” que dependam fundamentalmente da escolha do usuário dos indivíduos a serem agrupados

A competição foi modelada como exemplo de um comportamento de interação entre grupos. Apresentou-se alguns resultados comparativos ocorridos para cada caso da dinâmica de populações e um estudo de caso baseado em treinamento de líderes, onde confirmou-se a hipótese que líderes com alto treinamento salvariam mais agentes que líderes com baixo treinamento. Neste caso a aplicação seria para a modelagem de efeito do grupo e do treinamento do líder em simulações de evacuação em situações de emergência.

Na tentativa de gerar uma população idêntica a abordagem microscópica usando a abordagem macroscópica, alcançou-se populações parecidas (médias parecidas de estados emocionais para os grupos e agentes não agrupados). Neste caso seria viável um estudo mais aprofundado de quais as características do grupo, e quais as características do indivíduo foram mantidas ou perdidas após o agrupamento.

Quanto a trabalhos futuros, o sistema de animação comportamental proposto pode ser aperfeiçoado em vários aspectos:

- Multidões emergentes – ao invés de emergir uma população com estados homogêneos a partir dos indivíduos, fazê-la emergir a partir de seus grupos. Assim os indivíduos formariam grupos baseados em suas individualidades e os grupos formariam multidões baseadas em seus parâmetros de grupo.
- Colisões – identificar e tratar as colisões dos indivíduos com outros indivíduos, ou com obstáculos, de grupos com outros grupos, ou indivíduos, ou obstáculos baseados em sua taxa de coesão.
- Visualização – os comportamentos visuais para indivíduos e grupos podem ser aperfeiçoados no sentido de incluir a visualização de outros comportamentos (estado emocional, comunicação, liderança).
- Interações de Grupo – novos tipos de interações de grupo poderiam ser acrescentadas usando equações de dinâmica de populações como por exemplo

simbiose, e cooperação e colaboração. Os parâmetros de grupo poderiam ser tratados de uma maneira dinâmica, mudando a cada iteração. Além disso, novos grupos poderiam competir e verificar a possível existência de caos quando um número muito grande de grupos compete entre si.

Sabe-se que a tarefa de simular aspectos reais da formação e comportamento de grupos de humanos ainda não está concluída. Devido a sua enorme complexidade, o que se fez foram muitas simplificações de comportamentos sociais. Apesar disso, acredita-se que uma gama de aplicações poderia se beneficiar com este paradigma. Aplicações que variam desde jogos que simulam comportamento sociais e/ou competição entre grupos, à simulações da vida real.

6 Bibliografia Referenciada

- [ALIVE 2002] ALIVE. Artificial Life Interactive Video Environment. Disponível por WWW em <http://alive.www.media.mit.edu/projects/alive/>, 1995.(Abr. 2002).
- [AntZ 1999] AntZ. Disponível por WWW em <http://www.antz.com>, 1999. (Abr. 2002).
- [Badler 1995] BADLER, N.; BECKET, W.; GRANIERI, J.. Towards real-time simulated human agents. In: WORKSHOP ON SIMULATION AND INTERACTION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS, I, 1995. *Proceedings...* Iowa:University of Iowa, 1995. p. 126-129.
- [Badler 1995a] BADLER, N.; WEBBER, B. L.; BECKET, W. GEILB, C.; MOORE, M. PELACHAUD, C. REICH, B. STONE, M.. Planning and Parallel Transition Networks: Animation's New Frontiers. In: PACIFIC GRAPHICS' 95, 1995. *Proceedings...*Seoul:World Scientific Publishing, aug. 1995. p. 101-117.
- [Barros 2002] BARROS, L. M.; EVERS, T. F.; MUSSE, S. R.. A framework to investigate behavioural models. *Journal of WSCG*, República Tcheca, v.10, n.1, p.40-47, 2002.
- [Becheiraz 1998] BECHEIRAZ, P; THALMANN, D.. A Behavioral Animation System for Autonomous Actors Personified by Emotions. In: WORKSHOP ON EMBODIED CONVERSATIONAL CHARACTERS (WECC '98), I, 1998. *Proceedings...* Lake Tahoe:[s.n.], aug. 1998. p.57-65.
- [Benesch 1995] BENESCH, H. *Atlas de la Psychologie*. Encyclopédies d'Aujourd'hui,1995.
- [Bouvier 1997] BOUVIER, E; COHEN, E.; NAJMAN, L.. From crowd simulation to airbag deployment: particle systems, a new paradigm of simulation. *Journal of Electronic Imaging*,[s.l.], v.6, n.1, p.94-107, Jan. 1997.
- [Brogan 1997] BROGAN, D. C.; HODGINS, J. K.. Group Behaviours for Systems with Significant Dynamics. *Autonomous Robots*, [s.l.], v.4, n.1, p.137-153, 1997.
- [Brogan 1998] BROGAN, D. C.; METOYER, R. A.; HODGINS, J. K.. Dynamically simulated characters in virtual environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, [s.l.], v.18, n.5, p.58-69, sept. 1998.

- [Brooks 1986] BROOKS, Rodney A. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, v. 2, n. 1, p.14-23, 1986.
- [Brooks 1991] BROOKS, Rodney A.. Intelligence Without Reason. In: 12th INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELIGENCE. XII, 1991. *Proceedings...* Sydney: Morgan Kauffmann, 1991. p. 569-595.
- [Bugs Life 1999] *Bugs Life*. Disponível por WWW em <http://www.bugslife.com>, 1999.(Abr. 2002).
- [Caicedo 2000] CAICEDO, A.; THALMANN, D.. Virtual Humanoids: Let Them Be Autonomous without Losing Control. In: 3IA 2000. 2000. *Proceedings...* Limoges: [s.n.], 2000.
- [Carvalho 1983] CARVALHO, M. I. *Introdução à Psicologia das Relações Humanas*. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Getúlio Vargas, 1983. 143p. Cap. 10: Sugestão, Imitação e Simpatia., p.49.
- [Cavazza 1998] CAVAZZA, M.; EARNSHAW, R.; MAGNENAT-THALMANN, N.; THALMANN, D.. Motion Control of Virtual Humans. *IEEE Computer Graphics and Applications*, [s.l.], v.18, n.5, p.24-31, Sept./Oct., 1998.
- [Costa 1995] COSTA, M.; FEIJÓ, B. Reactive Agents in Behavioral Animation In: SIBIGRAPI '95, 1995. *Proceedings...*[s.l.];[s.n.]. pp. 159-165.
- [David 2002] DAVID, P. K.. O Senhor dos Anéis. *Digital Designer*, Contagem, v.5, n.40, p.14-21, Fev., 2002.
- [Dorigo 1997] DORIGO, M.; GAMBARELLA, L. M.. Ant Colony System: A Co-operative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem. *IEEE Transactions on Evolucionary Computation*, [s.l.], v.1, n.1, p.53-66, April 1997.
- [Emering 1996] EMERING L. Real Time Human Action Recognition for Virtual Environments. Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1996. p.18.(Notas de Aula).
- [Evers 2002] EVERS, T. F.; MUSSE, S. R.. Building Artificial Memory to Autonomous Agents using Dynamic and Hierarchical Finite State Machine. In: COMPUTER ANIMATION' 02, 2002. *Proceedings...* Geneve: IEEE Press, 2002. p.164-170.
- [Gouveia 1967] Gouveia J.*Relações Humanas*.1.ed. Rio de Janeiro: Departamento Administrativo de Pessoal Civil, 1967. 94 p. Capítulo 8: Relações Humanas no Trabalho, p.74-76.
- [Glasser/Price 1982] GLASSER, J.W., PRICE H.J. Niche theory: new insights from an old paradigm. *J.Theor. Biol.* 99, [s.l.]: p.437-460, 1982.
- [Hartley 1960] HARTLEY, R. E. Relationship between Perceived Values and Acceptance of a New reference Group. *Journal of Social Psychology*., [s.l.], v. 51, p. 181-190, 1960.

- [Helbing 1995] HELBING, D.; MOLNAR, P.. Social force model for pedestrian dynamics. *Phys. Review E*, [s.l.], v. 51, n.5, p.4282-4286, 1995.
- [Helbing 2000] HELBING, D.; FARKAS, I.; VICSEK, T.. Simulating dynamical features of scape panic. *Nature*, v.407, n.6803, p.487-490, Sep., 2000.
- [Helbing 2002] HELBING, D.. *Panic: A Quantitative Analysis*. Disponível por WWW em <http://angel.elte.hu/~panic/>, 2000.(Abr. 2002).
- [Kallmann 1999] KALLMANN, M.; THALMANN, D.. A Behavior Interface to Simulate Agent-Object Interactions in Real-Time. In: COMPUTER ANIMATION '99. 1999. *Proceedings...*Geneve: IEEE Computer Society Press, 1999. p. 138-146.
- [Kallmann 2000] KALLMANN, M.; MONZANI, J. S.; CAICEDO, A.; THALMANN, D.. ACE: A Platform for the Real Time Simulation of Virtual Human Agents. In: EGCAS '2000, XI, 2000. *Proceedings...*Interlaken: [s.n.], aug. 2000, p.73-84.
- [Lamarche 2001] LAMARCHE, F.; DONIKIAN, S.. The Orchestration of Behaviours using Resources and Priority Levels. In: EGCAS' 2001, XII, 2001. *Proceedings...*Manchester:[s.n.], sept. 2001. p.171-182.
- [Langton 1994] LANGTON, C. 1,1/2 *Edition of Journal of Artificial Life*. Cambridge,Mass: MIT press,Winter 1994.
- [Langton 1995] LANGTON, C. Interview made during the conference "Einstein Meets Magritte".Disponível por WWW em <http://www.bendov.info/eng/langton.htm>,1995. (Maio 2001).
- [Lewin 1939] LEWIN, K., *Field Theory and Experiment in Social Psychology: concepts and methods*,[s.l.],44p. 868-897, 1939.
- [Looijen 1998] Looijen C.R., *Holism and reductionism in biology and ecology : the mutual dependence of higher and lower level research programmes*. University Groningen, 1998. 265 p. (Tese).
- [Lotka 1920] LOTKA, A. J. Undaped Oscillations Derived From the Mass Action. *Journal Amer.Chem.Soc....*,[s.l.] [s,n] n. 42, p.1595-1599, 1920.
- [McDavid 1980] McDAVID, W. J., Harari H. *Psicologia e Comportamento Social*. Rio de Janeiro: Interciência, 1980. p. 446.
- [Maes 1995] MAES, P. Artificial Life meets Entertainment: Interacting with Lifelike Autonomous Agents. *Communications of the ACM*, [s.l.], v.38, n.11, p.108-114, Nov. 1995.
- [Maes 1996] MAES, P., DARELL, T.; BUMBERG, B.; PENTLAND, A.. The ALIVE System: Wireless, Full-body Interaction with Autonomous Agents. *ACM Multimedia Systems*, v.5, n.2, p.105-112, Mar. 1997.

- [Mataric 1994] MATARIC, M. J. Learning to Behave Socially. In: FROM ANIMALS TO ANIMATS: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIMULATION OF ADAPTATIVE BEHAVIOR. 1994. *Proceedings...* Brighton: D. Cliff, P. Husbands, J.-A. Meyewr & S. Wilson eds, aug.1994. p.453-462.
- [Mataric 1995] MATARIC, M. J.. Designing and Understanding Adaptive Group Behavior. *Adaptive Behavior*, [s.l.], n.4, v.1, p.51-80, 1995.
- [Monzani 2001] MONZANI, J-S., CAICEDO, A, THALMANN, D. Integrating Behavioural Animation Techniques. In: EUROGRAPHICS '2001. 2001. *Proceedings...* Manchester:[s.n.], 2001.
- [Moreau 1998] MOREAU, G.; DONIKIAN, S.. From Psychological and Real-Time Interaction Requirements to Behavioural Simulation. In: EGCAS '98. 1998. *Proceedings...*Lisboa:Spring-Verlag, sep. 1998. p. 29-44.
- [Murray 1989] MURRAY, J.D. *Mathematical Biology*. 2. ed. New York: Springer-Verlang Berlin Heidelberg, 1989. 767 p. Cap. 3: Continuous Models for Interacting Populations, p.78-83.
- [Musse 2000] MUSSE, S. R.. *Human Crowd Modelling with Various Levels of Behaviour Control*. Lausanne: EPFL, 2000. 164 p. (Tese, Doutorado em Ciências).
- [Musse 2001] MUSSE, S. R.; THALMANN, D.. A Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, New York, v.7, n.2, p.152-164, 2001.
- [NECSI 2002] NEW ENGLAND COMPLEX SYSTEMS INSTITUTE. Disponível por WWW em <http://www.necsi.org>, 2002.(Abr. 2002)
- [Noser 1995] NOSER, H.; RENAULT, O.; THALMANN, D.; MAGNENAT-THALMANN, N.. Navigation for Digital Actors based on Synthetic Vision, Memory and Learning. *Computer and Graphics*, [s.l.], v.19, n.1, p.7-19, 1995.
- [Noser 1996] NOSER, H.. *A Behavior Animation System based on L-Systems and Synthetic Sensor for Actors*. Lausanne: EPFL, 1997. (Tese, Doutorado em Ciências).
- [ODE 2002] ODE LABORATORIES. *Mathematica Track*. Disponível por WWW em <http://calculus.sjdccd.cc.ca.us/ODE/7-C-1/7-C-1-h.html>,1995. (Ago. 2002).
- [PDI 2001] PDI/Dreamworks. Shrek: The Story Behind the Screen. In: SIGGRAPH' 01, XXVIII. *Course...*Los Angeles:ACM Press, aug. 2001.
- [Press 1982] PRESS, W. H., VETTERLING, W. T., TEULOLSKY S. A., FLANNERY B. P., *Numerical Recipes in C*. 2. ed. New York:

- Press Syndicate of the University of Cambridge, 1992. 951 p. Cap. 16: Integration of Ordinary Differential Equations, p.708.
- [Privitera 1999] PRIVITERA, R.. Star Wars: “A Ameaça Fantasma” – O Filme, Os Efeitos. *Digital Designer*, Brasil (Contagem), v.2, n.10, p.24-27, jul. 1999.
- [Renault 1990] RENAULT, O.; THALMANN, D.; MAGNENAT-THALMANN, N.. A Vision-Based Approach to Behavioral Animation. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, [s.l.], v.1, n.1, p.18-21, Aug. 1990.
- [Reynolds 1987] REYNOLDS, C. W. Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, [s.l.], v.21, n.4, p.25-34, Jul. 1987.
- [Resnick 1997] RESNICK, M. *Turtles, Termites, and Traffic Jams*; Exploration in Massively Parallel Microworlds: MIT Press, 1997.163p.
- [Santa Fé 2002] SANTA FE INSTITUTE. Disponível por WWW em <http://www.santafe.org>, [s.d.].(Abr. 2002)
- [Sanza 2001] SANZA, C.; HEGUY, O.; DUTHEN, Y.. Evolution and Cooperation of Virtual Entities with Classifier Systems. In: EGCAS’ 2001, 2001. *Proceedings...*Manchester: Spring-Verlag, sept., 2001. p.183-194.
- [Softimage 2002] *Softimage Co.* Disponível por WWW em <http://www.softimage.com>, 2002. (Abr. 2002)
- [SWARM 2002] *SWARM DEVELOPMENT GROUP.* Disponível por WWW em <http://www.swarm.org>, [s.d.].(Abr. 2002)
- [Terzopoulos 1999] TERZOPOULOS, D.. Artificial Life for Computer Graphics. *Communications of the ACM*, [s.l.], v.42, n.8, p.33-42, Aug. 1999.
- [Thalmmann 1996] THALMANN, D.. A New Generation of Syntetic Actors: The Interactive Perceptive Actors. In: PACIFIC GRAPHICS ‘96. 1996. *Proceedings...* Taipeh: Chiao Tung University Press, 1996. p.200-219.
- [Thalmmann 1999] THALMANN, D.; MUSSE, S. R.; KALLMANN, M.. Virtual Humans’ Behaviour: Individual, Groups, and Crowds. In: DIGITAL MEDIA FEATURES. 1999. *Proceedings...*Bradford:[s.n.]. 1999.
- [Tilman 1980] TILMAN D. Resources: a graphical-mechanistic approach to competiton and predation. *Am. Nat.* 116 [s.l.]: 362-393.
- [Tomaz 2000] TOMAZ, G.; DONIKIAN, S.. Modelling vitual cities dedicated to behavioural animation. *The International Journal of The Eurographics Association (Computer Graphics Forum)*, Interlaken, v.19, n.3, p.C71-C80, Aug. 2000.
- [Tu 1994] TU, X.; TERZOPOULOS, D.. Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior. *Computer Animation*, Orlando, v.28, p.43-50, Jul. 1994.

- [Tu 1999] TU, X., TERZOPOULOS, D. *Artificial Animals for Computer Animation*. New York: Springer-Verlang, 1999. 172p.
- [Ulicny 2001] ULICNY, B. Crowd Simulation for Interactive Virtual Environments and VR Training Systems. In: EUROGRAPHICS WORKSHOP ON ANIMATION AND SIMULATION '01. 2001. *Proceedings...* Manchester: Springer-Verlag, set. 2001, p.163-170.
- [Villamil 2001] VILLAMIL, M.; MUSSE, S. Real Observation Using CGR Methodology. Working-in-Progress Report delivered to Legion (CROMOS Project, São Leopoldo, 2001).
- [Volterra 1926] VOLTERRA, V. Variation and Fluctuations of Number of Individuals in Animal Species Living Together. *Mem. Acad. Lincei.*, [s.l.], n. 2, p.31-113, 1926.
- [Wavefront 1991] Wavefront Technologies. The Advanced Visualizer – Users Guide, Appendix B, 1991.
- [Wilhelms 1990] WILHELMS, J.; SKINNER, R.. A ‘Notion’ for Interactive Behavioural Animation Control. *IEEE Computer Graphics and Applications*, [s.l.], v.10, n.3, p.14-22, May 1990.
- [Woo 1996] Woo, M. *OpenGL Programming Guide: the official guide to learning OpenGL*. 1. ed. [s.l.]: Addison Wesley, 1996.
- [Wooldridge 1995] WOOLDRIDGE, M. J.; JENNINGS, N. R.. Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, [s.l.], v.10, n.2, p.115-152, 1995.
- [Zeltzer 1991] ZELTZER, D.. Task-level Graphical Simulation: Abstraction, Representation and Control. In: N. Badler, B. Barsky and D. Zeltzer eds. *Making them Move: Mechanics, Control and Animation of Articulated Figures*. California: Morgan-Kaufmann Publishers, 1991. p. 3-33. 1991.

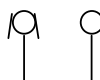
7 Bibliografia Consultada

- [Badler 1997] BADLER, N.; BECKET, W.; GRANIERI, J.. Towards real-time simulated human agents. In: WORKSHOP ON SIMULATION AND INTERACTION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS, I, 1995. *Proceedings...* Iowa:University of Iowa, 1995. p. 126-129.
- [Flake 1999] FLAKE G.W. *The Computational Beauty of Nature*. Massachesses: MIT Press, 1998. 493p.
- [Franklin 1996] FRANKLIN, S. Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON AGENT THEORIES, ARCHITECTURES, AND LANGUAGES. 1996. *Proceedings...*[s.l.]: Springer-Verlag, 1996.
- [Maes 1989] MAES, P. How to Do the Right Thing. *Connection Science Journal*, [s.l.]: v. 1, n. 3, p.291-323, Nov.1989.
- [Monzani 2001] MONZANI, J.S.; CAICEDO, A.; THALMANN, D. Integrating Behavioural Animation Techniques. In: EUROGRAPHICS '2001, 2001. *Proceedings...* Manchester:[s.n.], 2001.
- [Musse 1999] MUSSE, S. R; THALMANN, D. Guiding and Interacting with Virtual Crowds in Real-Time. In: EUROGRAPHICS-CAS '99. 1999. *Proceedings...* Milan: [s.n.], 1999.
- [Musse 1999] THALMANN, D, MUSSE, S. R., KALLMANN, M. Virtual Humans' Behaviour: Individuals, Groups, and Crowds. In: DIGITAL. Media Features. 1999. *Proceedings...* Bardford:[s.n], 1999.

Anexo A Convenções

O objetivo deste anexo é convencionar as interações de grupos e indivíduos que formam a multidão real em seqüências de filme.

Crianças (incluindo sexo)



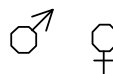
Bebê



Policial



Pessoas (incluindo sexo)



Bicicleta



Carro



Trabalhadores



Deficiente Físico



Pessoa com dificuldade de movimento



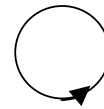
Interações:

Elos (mãos dadas)



Interação

Interação dentro de um grupo de pessoas (grupo fechado)



Interação dentro de um grupo de pessoas (grupo aberto)



Movimento



Movimento em baixa velocidade



v (se necessário, =float_value)

Movement in high speed



V(se necessário, V= float_value)

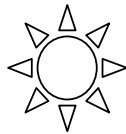
Grupo



Interação de Grupo



Ponto de encontro



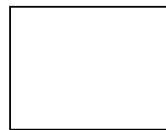
Obstáculo



Trajetória do grupo

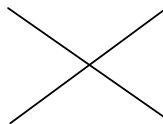


Relacionamento em seqüência de tempo



l = índice de seqüência
i = identificador

Parada de movimento



Collision situation



Anexo B Arquivo de Saída

Frame 5000

Grupo 1

Agente 01 S 0.77

Agente 60 S 0.79 lider

Grupo 2

Agente 12 S 0.78 lider

Agente 13 S 0.91

Agente 22 S 0.88

Frame 10000

Grupo 1

Agente 10 S 0.69

Agente 01 S 0.77

Agente 60 S 0.79 lider

Agente 13 S 0.80

S medio 0.76 r1 1.09 b12 1.1 K1 533.33

Grupo 2

Agente 12 S 0.78 lider

Agente 05 S 0.71

Agente 60 S 0.69

Agente 13 S 0.91

Agente 22 S 0.88

Anexo C Arquivo script

```
MACROSCOPIC
AGENTS 100
GEOMETRY { REGION 1 2.0 0.0 8.0 10.0 0.0 0.0}
OUTPUT FILE CATERVA
{ 14 INITIAL POSITION REGION 1 COESION 2.0 COMPETITIVITY 0.99
GROWING_RATE 0.99 }
{ 38 COESION 5.0 COMPETITIVITY 0.20 GROWING_RATE 0.60 }
```