

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**SIMULAÇÃO DE GRUPOS
DE AGENTES VIRTUAIS UTILIZANDO
RACIOCÍNIO DE TERRENOS**

VINÍCIUS JURINIC CASSOL

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-graduação da Faculdade de Informática - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Soraia Raupp Musse

Porto Alegre, Brasil
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C345s	Cassol, Vinícius Jurinic Simulação de grupos de agentes virtuais utilizando raciocínio de terrenos / Vinícius Jurinic Cassol. – Porto Alegre, 2011. 75 f. Diss. (Mestrado) – Fac. de Informática, PUCRS. Orientador: Prof. ^a Dr. ^a Soraia Raupp Musse. 1. Informática. 2. Computação Gráfica. 3. Simulação e Modelagem em computadores. I. Musse, Soraia Raupp. II. Título. CDD 006.6
-------	--

**Ficha Catalográfica elaborada pelo
Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

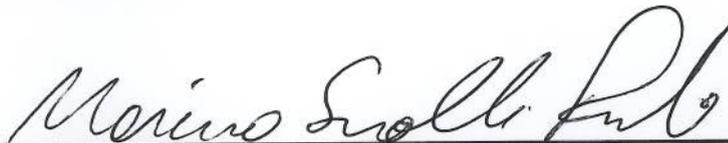
TERMO DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação intitulada "**Simulação de Grupos de Agentes Virtuais Utilizando Raciocínio de Terrenos**", apresentada por Vinícius Jurinic Cassol, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Sistemas Interativos e de Visualização, aprovada em 22/03/2011 pela Comissão Examinadora:



Prof. Dra. Soraia Raupp Musse -
Orientadora

PPGCC/PUCRS



Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho -

PPGCC/PUCRS



Prof. Dr. Alessandro de Lima Bicho -

FURG

Homologada em 27/09/11, conforme Ata No. 19/11 pela Comissão Coordenadora.



Prof. Dr. Fernando Luís Dotti,
Coordenador.

PUCRS

Campus Central

Av. Ipiranga, 6681 - P32- sala 507 - CEP: 90619-900

Fone: (51) 3320-3611 - Fax (51) 3320-3621

E-mail: ppgcc@pucrs.br

www.pucrs.br/facin/pos

*“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais volta ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

*“A reunião dos indivíduos não dá um resultado
igual à soma de cada um deles.”*

Enrico Ferri

“In dreams begin responsibilities.”

Delmore Schwartz

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha família: Vicente, Liris e Vanessa: Pai, Mãe e Mana que sempre me apoiaram.

Sem falar também no apoio da Cassolada porto-alegrense, a qual me agreguei :) Toda família com que pude contar sempre e hoje estão felizes com esta conquista.

Aos amigos feitos no decorrer do curso: Aline, Igor, Fabiana, Roger e Tiago e todo o pessoal do café. Obrigado pela companhia, pela troca de experiências, pelas idéias compartilhadas, pelos desabafos, pelas conversas, longas conversas, risadas e, é claro, pela amizade.

Em especial à minha orientadora Soraia, pelos desafios, pela confiança, pelas oportunidades, pelo empenho, pelas reuniões *divãs* e *cafés* onde aprendi, conversei e me diverti bastante :)

Sem falar no *dream team*, ou então, os *Soraísticos* do VHLab, sempre presentes: Marson, Humberto, Henry, Rossana, Adriana, Luiz, Leandro, Matheus e Nathalia. Todos pessoas **brilhantes**, sem exagero, com quem tive oportunidade de trabalhar :D

Ao CNPq, pelo amparo financeiro ao longo desta pesquisa.

A todos os demais amigos, professores, colegas, conhecidos que de uma forma ou outra, apoiaram e/ou contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus, que sempre ilumina o meu caminho, me dá vontade, coragem e entusiasmo para seguir sempre em frente.

E, a todos que sempre torcem por mim: *Muito Obrigado!*

SIMULAÇÃO DE GRUPOS DE AGENTES VIRTUAIS UTILIZANDO RACIOCÍNIO DE TERRENOS

RESUMO

A área de simulação de agentes em ambientes virtuais possui ampla aplicação, tanto na área de jogos e produções de entretenimento, bem como em aplicações de segurança. Para tanto, tais simulações devem considerar, além de percepções do agente, características do espaço que possam influenciar a evolução do movimento dos agentes no ambiente. Tais características podem representar informações geográficas (como a presença de rios ou lagos), obstáculos a serem evitados ou variações 3D no ambiente virtual, que devem ser consideradas durante a locomoção de personagens. Com este olhar, neste trabalho, considera-se o conceito de "*raciocínio de terrenos*", onde busca-se, através de informações semânticas do terreno, identificar características presentes no espaço e levá-las em consideração na produção do movimento dos personagens que povoam o ambiente. Como principal objetivo, o trabalho apresenta a adequação do modelo para simulação de multidões denominado *BioCrowds*, ao qual integra-se o conceito de "*raciocínio de terrenos*". Considerando a abordagem biológica adotada no modelo utilizado para simulação do movimento de pedestres, foram propostas adequações no mesmo a fim de possibilitar a integração do novo conceito. Dessa forma, pôde-se obter novos resultados de simulação, apresentando situações onde faz-se necessária a utilização do conceito de raciocínio de terrenos na busca de comportamentos mais consistentes.

Palavras-chave: Raciocínio de Terrenos; Simulação de Multidões; Agentes Virtuais.

SIMULATION OF GROUPS OF VIRTUAL AGENTS USING TERRAIN REASONING

ABSTRACT

The simulation of agents in virtual environment has a wide application in entertainment and security areas. It is important that such simulations also consider space features, besides only agent perception, in which may influence the agents movement across the virtual world. These space features can be treated as a set of geographical information such as rivers, lakes and mountains, also including obstacles to be avoided or 3D variations in the virtual environment that should be considered in the agents motion. This work uses the concept of "*terrain reasoning*" that considers terrain semantic information to represent its features. Such information needs to be considered in order to provide the agents motion. In this work, we have as the main goal the integration between the *terrain reasoning* concept with the *BioCrowds*, a model for crowd simulation. Considering the biological approach used in the model to simulation of pedestrians motion, we suggest some adjustments to integrate the new concept in the model. By this way, obtained results presents new situations of simulation, that show cases where it is necessary to consider the terrain reasoning concept with goal to reproduce more consistent behaviors.

Keywords: Terrain Reasoning; Crowd Simulation; Virtual Agents.

LISTA DE FIGURAS

1.1	Contraste entre duas situações formadoras de multidões. Em A, apresenta-se uma multidão formada pelo público que assiste ao show da banda de rock brasileira Capital Inicial (http://capitalinicial.uol.com.br) . Em B, apresenta-se a multidão formada pelos moradores da cidade <i>New Orleans</i> (EUA), evacuando-a após a ameaça do furacão <i>Gustav</i> em 2008 (http://www.metsul.com).	24
2.1	Efeitos de auto-organização em multidões: em A, observa-se, devido à alta densidade de indivíduos, a formação de vias de pedestres que se deslocam na mesma direção considerando a lei do mínimo esforço. Em B, observa-se o possível efeito de redução da velocidade devido à alta densidade de indivíduos na multidão que se desloca de encontro a outra (observação possível devido ao posicionamento das faces) [38].	29
2.2	Representação de cinco agentes e seus respectivos espaços pessoais. Os marcadores presentes no espaço pessoal de cada agente são representados por cores diferentes conforme o agente e são considerados no cálculo do próximo passo [4].	30
2.3	Resultados de simulações efetuadas no <i>BioCrowds</i> : a imagem A apresenta os agentes e seus marcadores alocados, associados ao agente por segmentos de reta. A imagem B mostra somente os agentes, os quais possuem uma espécie de circunferência em torno de si para representar o espaço pessoal de cada um [4].	32
3.1	Comportamento emergente dos <i>boids</i> , onde pode-se observar o agrupamento e o movimento direcionado dos agentes [32]	34
3.2	Fases do IRM: 1-definição da Rota Indicativa apresentada em azul; 2-criação do Corredor, onde em azul está representada a rota indicativa e em vermelho apresenta-se a rota possível adotada após a verificação do Diagrama de Voronoi gerado com base nos obstáculos presentes no ambiente; 3-definição da Trajetória final a ser seguida pelo agente para alcançar o objetivo proposto [16].	39
3.3	Resultados do projeto <i>PetroSim</i> . Em (A) a ocorrência de situação de pânico e os pontos seguros representados por bandeiras; e em (B) o deslocamento dos moradores virtuais em relação aos pontos seguros.	41
3.4	Simulação de Multidões em produções cinematográficas: A) Avatar; B) Senhor dos Anéis; C) Eu, Robô e D) King Kong.	42
3.5	Utiização de pessoas digitais no filme <i>Titanic</i>	42

4.1	Estrutura do projeto em que o presente modelo está inserido. Tal estrutura é composta pelos módulos de geração de terrenos, simulação do movimento de personagens no terreno e visualização do movimento com humanos virtuais.	45
4.2	Em (A), a representação de um terreno e em (B), o mesmo terreno representado através da disposição dos marcadores que o representam.	48
4.3	Em (A), a representação de um terreno onde são definidas regiões especiais que influenciam a locomoção e em (B), o mesmo terreno no ambiente de simulação. Em ambos os casos (1), representa um espaço preferencialmente não caminhável e (2) ilustra uma região não-caminhável.	49
4.4	Grafo utilizado como entrada para a execução do Algoritmo A*. Representação dos nodos e arestas utilizados pelo algoritmo de planejamento de caminho. O grafo foi produzido considerando a presença de regiões preferencialmente não-caminháveis (1) e também não-caminháveis (2), onde por sua vez, não ocorre a criação de nodos e arestas.	52
4.5	Processo de criação das arestas do grafo considerando a existência de regiões diferenciadas no ambiente.	53
4.6	Em (A), representa-se o Grafo de conectividade considerado por Marson e Musse [20] para representação de um ambiente residencial com respectivas características e, em (B), ilustra-se o mesmo grafo após adequações para ser utilizado na produção de <i>pathplanning</i> para a simulação de agentes virtuais na residência.	54
5.1	<i>TerrainTool</i> : Ferramenta desenvolvida para o processo de geração do terreno (A), definição de regiões não-caminháveis e preferencialmente não-caminháveis (B) e geração do grafo considerando a existência de regiões diferenciadas (C).	58
5.2	Visualização da simulação com a utilização de humanoides.	59
5.3	Duas simulações apresentando a evolução da trajetória de um grupo formado por 50 agentes, considerando a existência de marcadores especiais no terreno. na primeira simulação (A e B), os agentes se deslocam considerando a existência de marcadores não-caminháveis (1). No segundo caso (C e D), os agentes também reagem à existência de marcadores preferencialmente não-caminháveis (2) os quais são considerados quando não existe a possibilidade de o agente navegar por marcadores caminháveis.	60
5.4	Grafo gerado considerando as características do terreno (A) e visualizado no ambiente de simulação (B). Para melhor visualização do grafo, no ambiente de simulação, foram ocultados os marcadores e os nodos do grafo, que localizam-se no cruzamento entre as arestas.	61

5.5	Trajetórias geradas pelo A* considerando quatro grupos diferentes, cada grupo composto por 10 agentes.	61
5.6	Exemplo de situação onde o agente deseja se deslocar do ponto 1 ao ponto 2, em uma montanha (A). Com a utilização do algoritmo A*, o agente se desloca em direção ao objetivo (B), diferentemente de como faria sem a existência do algoritmo de planejamento de caminho (C). Em C, também é possível observar o contraste nas trajetórias: a linha contínua representa o trajeto proposto pelo A* e a linha tracejada considera o caminho seguido por um agente que não utilizou tal algoritmo na sua trajetória.	62
5.7	Duas imagens que ilustram a situação onde um grupo de agentes deseja se deslocar do ponto 1 ao ponto 2, considerando o caminho gerado pelo A* juntamente com a existência de uma região não-caminhável.	63
5.8	Em A, o grafo de conectividade e em B a casa utilizada para simulação de ambientes internos[20]. Em C, apresenta-se a sua visualização no ambiente de simulação.	63
5.9	Em A, apresenta-se o grafo ligando os cômodos da casa e em B a locomoção dos agentes em relação ao grafo. Em C e D, apresentam-se agentes que se deslocam pela casa para realizar ações.	64

LISTA DE TABELAS

4.1	Atributos dos componentes do grafo, nodos e arestas, que são considerados pelo algoritmo de planejamento de caminho.	52
4.2	Ações e locais de realização definidos para serem considerados na simulação de agentes em ambientes residenciais.	55

LISTA DE SIGLAS

3D	Com três dimensões
CG	Computação Gráfica
IA	Inteligência Artificial
NPC	Non-player Character
VHLab	Virtual Humans Simulation Laboratory

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE SIGLAS	19
1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Objetivo	26
1.1.1 Objetivos Específicos	26
1.2 Organização	26
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 Dinâmica de Grupos e Multidões	27
2.2 O Modelo <i>BioCrowds</i>	29
3. TRABALHOS RELACIONADOS	33
3.1 Modelos para Simulação de Agentes Virtuais	33
3.1.1 Simulação individual e de pequenos grupos de agentes	33
3.1.2 Simulação de Multidões	34
3.2 Raciocínio de Terrenos	36
3.2.1 Algoritmos para <i>Path Planning</i> na Simulação de Grupos e Multidões	37
3.3 Aplicações dos Modelos para Simulações	40
3.4 Contextualização do Trabalho no Estado-da-arte	43
4. MODELO PROPOSTO	45
4.1 Raciocínio de Terrenos neste Trabalho	46
4.2 Definição de Marcadores	47
4.3 Definição do Movimento dos Agentes	49
4.3.1 Agentes não-humanos	51
4.4 <i>Path Planning</i>	51
4.5 Movimentação de Agentes em Ambientes Internos	54

5. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	57
5.1 Protótipo	57
5.1.1 <i>TerrainTool</i>	57
5.1.2 Simulador e Visualizador	58
5.2 Simulações Realizadas	59
5.2.1 Simulação do Movimento de Agentes no Terreno	59
5.2.2 Simulação de Movimento de Agentes em Ambiente Interno	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
A. Publicações Obtidas	73
A.1 Artigos em Anais de Conferências	73
A.2 Resumo em Anais de Conferência	73
A.3 Capítulo de Livro	73
A.4 Artigo em Periódico	73

1. INTRODUÇÃO

O ato de observar a movimentação de pessoas, bem como um grupo delas, em um determinado espaço, produz dados que podem ser utilizados como objetos de estudo com diferentes propósitos. Tais propósitos podem incluir a movimentação destas pessoas considerando o espaço físico em estudos de segurança e de engenharia. Além disso, na área de psicologia existem estudos que buscam observar pontos como a forma de locomoção, contato, interação e relacionamento entre os envolvidos na ocasião. Um propósito que viabiliza o estudo dos indivíduos em grupo, é o levantado por LeBon [19], que considera que quando em massa, o indivíduo abandona a própria identidade mental e assume a identidade do todo, perdendo sua capacidade crítica. Para o autor, quando em grupo, as pessoas muitas vezes descartam os próprios valores morais e suas inibições. Com isso, tornam-se extremamente emotivas tornando-se até, em algumas vezes, irracionais.

Com visão similar, Sighele observa a ocorrência de grupos e apresenta a obra *A Multidão Criminosa* [37] na qual analisa crimes cometidos por indivíduos em massa, bem como revoltas e linchamentos que ameaçam a ordem e até mesmo o Estado. Tal percepção, assim como a de LeBon, considera que uma mentalidade de massa pode transformar o grupo em uma força incontrolável, e provavelmente imprevisível. Para o autor, independente do grau de inteligência das pessoas, quando em grupo, suas forças não são somadas, mas sim, diminuídas.

Um grupo pode ser formado a partir de duas pessoas que se encontram reunidas em determinada situação no mesmo espaço. Com o aumento do número de membros do grupo, pode formar-se uma multidão. Para Sighele, a multidão é um agregado *heterogêneo e inorgânico* de pessoas. *Heterogêneo* porque é composto de indivíduos de todas as idades, de ambos os sexos, de diferentes classes e condições sociais, graus de moralidade e cultura; e *inorgânico* pois se forma repentinamente, sem acordo prévio e de improviso.

O conceito apresentado por Sighele, apesar de antigo, pode ser facilmente observado em situações do cotidiano atual. Dentre elas pode-se observar, como exemplo, a plateia de um show, onde todos os indivíduos estão no local com um objetivo em comum: assistir o show (Figura 1.1 (A)). Tais indivíduos, apesar do objetivo em comum, encontram-se reunidos de forma involuntária, sem prévia definição de como seria a formação da massa. Além disso, outras situações de aglomeração podem ser facilmente identificadas em diferentes ambientes, dentre elas o tráfego de pedestres na rua ou em uma estação de transporte coletivo (rodoviária, metrô, aeroporto), além da movimentação de pessoas em outros ambientes públicos propícios à concentração de indivíduos, como escolas ou *shopping centers*.

Além de situações cotidianas que podem propiciar a formação de multidões, também

é possível verificar situações que podem ocorrer esporadicamente, mas que por sua vez, também propiciam a aglomeração de pessoas. Dentre estes tipos de situação, podem ser elencadas situações de emergência (Figura 1.1 (B)) como, por exemplo, um prédio em chamas, que deve ser evacuado, ou outra necessidade específica relacionada à catástrofe, onde tal evacuação irá contribuir para a aglomeração, visto que todas as pessoas necessitam deixar o ambiente no mesmo momento.



Figura 1.1: Contraste entre duas situações formadoras de multidões. Em A, apresenta-se uma multidão formada pelo público que assiste ao show da banda de rock brasileira Capital Inicial (<http://capitalinicial.uol.com.br>) . Em B, apresenta-se a multidão formada pelos moradores da cidade *New Orleans* (EUA), evacuando-a após a ameaça do furacão *Gustav* em 2008 (<http://www.metsul.com>).

Considerando que determinados ambientes ou situações possam ser palco de aglomerações de pessoas, torna-se interessante a análise do comportamento desses indivíduos de forma coletiva, a fim de identificar possíveis melhorias no ambiente que possam facilitar a ocupação do espaço ou contribuir para uma melhor movimentação das pessoas. Neste sentido, além de características dos grupos, estudos sobre o assunto devem considerar características físicas do ambiente que possam interferir ou influenciar a ocupação do espaço pelos indivíduos [8].

Considerando tais características, com diferentes fins, é possível encontrar aplicações que visam reproduzir o comportamento de um grupo ou multidão em determinado espaço. Para Thalmann e Musse [42], a movimentação conjunta é ao mesmo tempo *bela* e *complexa*. É *bela* pelo sincronismo, homogeneidade e unidade observada no movimento; e *complexa* por apresentar diversos parâmetros que devem ser levados em conta para produzir tais características.

Existem, na literatura, diversos modelos computacionais produzidos com o intuito de simular grupos e multidões e dentre eles encontra-se o modelo *BioCrowds*. Proposto por Bicho [4], este modelo utiliza-se de uma abordagem biológica para simulação de multidões

e foi considerado como base na produção do presente trabalho.

Outro ponto importante, que afeta a evolução de uma multidão, é o terreno ou espaço em que ela ocorre. Características do terreno, como buracos ou montanhas, geralmente influenciam nas decisões e movimentações dos indivíduos. Estudos mostram que os indivíduos buscam o caminho mais curto e confortável para se deslocar até determinado ponto, caracterizando a lei do mínimo esforço [15].

Além disso, ao considerar indivíduos que movimentam-se independentemente, é necessário que todos os agentes envolvidos na simulação tenham conhecimento do espaço para que consigam efetuar a locomoção em busca do objetivo almejado. Os agentes devem ser capazes de identificar variações 3D do terreno, obstáculos, bem como características geográficas no terreno que interfiram na locomoção da multidão (lagos, buracos, estradas). Na literatura, abordagens que tem por objetivo prover esses comportamentos, são conhecidas como raciocínio de terrenos ou *terrain reasoning* [31], e consideram características do terreno que possam afetar a locomoção do agente.

A aplicabilidade dos modelos para simulação de grupos e multidões pode ser vista em diferentes áreas, como a área de entretenimento, na qual existe intuito de simular situações que envolvam um grande número de personagens para povoar ambientes virtuais. Ressalta-se que ao simular computacionalmente situações cotidianas, fatores reais são levados em conta, como as características dos agentes envolvidos e do espaço, bem como a situação específica.

Além da área de entretenimento, entre outras, este tipo de simulação também pode ser empregado em aplicativos da área de segurança. Nesse caso, simulações são desenvolvidas para representar problemas como situações de catástrofe onde torna-se interessante analisar como determinado grupo de pessoas, por exemplo a população de uma cidade, se comportaria em em uma situação atípica. Além disso, também é possível a utilização de simulações para analisar como indivíduos realizam a ocupação de espaços *indoor*, considerando as suas características, e representando também, situações de evacuação de ambientes em casos de emergência.

Considerando as duas principais áreas de estudos brevemente elencadas, simulação de multidões e raciocínio de terrenos, identifica-se alguns desafios de pesquisa, nos quais enquadra-se o presente trabalho. Esta dissertação considera a aplicação do conceito de raciocínio de terrenos em simulações de grupos de agentes e multidões. Para isso, objetiva-se que os agentes membros do grupo reajam a diferentes regiões do ambiente. Tal reação diferenciada torna-se possível em um ambiente que permita identificar espaços propícios à movimentação dos agentes, bem como onde este movimento não é permitido ou então permitido somente em determinadas circunstâncias.

1.1 Objetivo

Este trabalho considera como principal objetivo, a adequação do modelo para simulação de multidões *BioCrowds* a fim de que ele passe a considerar o conceito de raciocínio de terrenos. Nesse contexto, considera-se a hipótese de que a especificação de regiões heterogêneas no terreno, pode representar diferentes espaços que devem ser coerentemente considerados durante a movimentação dos agentes no espaço.

1.1.1 Objetivos Específicos

Mais especificamente, tem-se como objetivos para este trabalho:

- Estudo do modelo *BioCrowds* a fim de verificar as adequações necessárias de modo a considerar o conceito de raciocínio de terrenos;
- Estudo de técnicas para simulação de multidões, considerando abordagens que apresentam características do terreno no desenvolvimento da simulação;
- Investigação da hipótese levantada anteriormente a fim de identificar novos atributos para as definições de regiões heterogêneas no ambiente;
- Adequação do modelo *BioCrowds* para integrar o novo conceito;
- Implementação das novas regras para a adequação do modelo a fim de prover o raciocínio de terrenos;
- Testes e avaliações do modelo considerando simulações em situações diferenciadas de cenário e grupos de agentes.

1.2 Organização

A estrutura desta dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 é composto pela fundamentação teórica referente a dinâmica de multidões e também realiza a apresentação do modelo para simulação de multidões *BioCrowds*, utilizado como base neste trabalho. Em sequência, no Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados, ou seja, modelos científicos produzidos nas duas áreas de estudo deste trabalho: simulação de multidões e raciocínio de terrenos. O modelo proposto é apresentado no Capítulo 4 e tem seus resultados apresentados e discutidos no Capítulo 5. Considerações finais e possibilidades de trabalhos futuros são elencados no Capítulo 6.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo, apresentar alguns fundamentos que visam facilitar e auxiliar a leitura, bem como atuar como base para o entendimento e compreensão dos próximos capítulos. Inicialmente, apresentam-se conceitos e pontos relacionados à dinâmica de multidões. Em seguida, é apresentado o modelo *BioCrowds* [4], desenvolvido para simulação de multidões, o qual foi utilizado como base na produção do presente trabalho.

2.1 Dinâmica de Grupos e Multidões

Ao simular uma multidão, ou até mesmo um grupo de agentes, alguns fatores devem ser observados. Dentre estes fatores, encontra-se o fato de a mesma ser formada por indivíduos independentes, os quais por sua vez possuem características próprias e necessidades distintas, bem como um objetivo a ser alcançado. Independente do modelo utilizado na simulação e na busca de resultados de qualidade, é interessante que fatores presentes em multidões reais sejam observados.

O conceito referente a grupo pode representar pessoas distintas que se desenvolvem em busca de um objetivo comum. Com este olhar, Osorio [29] considera um grupo como um sistema humano que compreende o conjunto de pessoas capazes de se reconhecerem em sua singularidade e que estão exercendo uma ação interativa com objetivos compartilhados. Destaca-se que não é necessário que os indivíduos formadores do grupo conheçam ou mantenham relações entre si, porém, necessita-se que o agregamento de pessoas forme uma corrente capaz de coesão e unidade repentina, ainda que passageira [45].

A análise de grupos de seres humanos, em busca do mapeamento e análise de suas características, é um campo amplamente trabalhado na área da psicologia. A partir do início do século XX, Sigmund Freud desenvolveu diversos estudos na área, observando durante décadas características dos seres humanos. Dentre estes estudos, encontra-se o intitulado *Psicologia das Massas e Análise do Eu* [7], no qual o autor apoia-se em estudos anteriores desenvolvidos por Le Bon [19] e Mc Dougall [21] para abordar o comportamento do ser humano quando parte de um grupo.

Na mesma linha, diversos estudos foram produzidos com o decorrer do tempo, buscando analisar aspectos relacionados a multidões. Um ponto interessante a ser observado, é que ao fazer parte de uma multidão, os indivíduos podem vir a executar comportamentos que não seriam executados individualmente. Para Le Bon [19], a semelhança ou diferença, que pode haver entre os membros do grupo, deixa de existir e os indivíduos passam a formar uma mente coletiva, abandonando sua individualidade. Assim, esta mente coletiva é a responsável para que os membros do grupo, passem a pensar, sentir e agir diferentemente

de como seria em situação individual.

Tendo como base a dinâmica de pedestres, Fruin [8] destaca a necessidade de um entendimento básico sobre as características e habilidades humanas. Dimensões físicas, por exemplo, podem determinar a dimensão do vão de uma porta; enquanto características psicológicas podem afetar a forma de contato e a distância que um pedestre tenta manter, em relação a outros, em um ambiente altamente povoado.

A distância, entre os membros de um grupo ou multidão, varia com base em diversos fatores. Tais fatores englobam, por exemplo, o tipo de relacionamento entre os membros do grupo, o sentimento que sentem uns pelos outros e também o que estão fazendo no mesmo espaço. Considerando tais aspectos, entre outros, e realizando observações em grupos de seres humanos e animais, o antropólogo Edward Hall [10] propõe o conceito de *proxemics*, proxêmica, para descrever o uso sociável do espaço pessoal dos indivíduos durante interações e comunicações. Embasando-se nas percepções humanas e possíveis distâncias interpessoais dos indivíduos, Hall propõe a existência de quatro distâncias possíveis entre indivíduos: pública, social, pessoal e íntima. Assim sendo, durante a locomoção, cada indivíduo avalia a distância entre outros indivíduos próximos e decide o próximo passo a tomar com base no espaço disponível.

O conceito definido por Hall, definindo o espaço pessoal, não necessariamente precisa ser aplicado a indivíduos independentes, mas também pode ser aplicado a grupos deles. Isto porque grupos comportam-se diferentemente, em função de tamanho, intimidade, local e circunstâncias em que se formam. Assim, da mesma forma que o indivíduo possui um espaço pessoal, é possível verificar que este conceito também aplica-se a grupos. Sabendo o espaço social do grupo, é possível identificar as relações do mesmo com o ambiente, como por exemplo, um destino comum e membros que compõem o grupo em caso de contato com outro grupo distinto [6].

Outro ponto observado nos estudos da área de comportamento de multidões, é o fato de que graças a hipótese do mínimo esforço [15], em que as pessoas buscam o caminho mais curto e confortável durante a exploração do espaço para chegar aos seus objetivos, pode-se observar situações de auto-organização das multidões, propiciadas através da manifestação de comportamentos emergentes. Embasando-se nos estudos de Helbing [15] e Still [38], são evidenciadas duas características que contribuem para a auto-organização das multidões:

- Formação de vias de pedestres (*lanes*), em uma situação de multidão, onde pedestres organizam-se em uma espécie de fila para facilitar a locomoção. De modo geral, o pedestre seguirá aquele imediatamente à sua frente, quando ambos se locomovem na mesma direção, mantendo velocidade menor e igual a ele (Figura 2.1 (A)).
- Efeito de redução da velocidade é ocasionado pela alta densidade de indivíduos no

mesmo espaço. Assim, quanto maior a densidade de pedestres, menor é a velocidade deles. Além disso, outra causa para este efeito também pode ser o fato de dois grupos cruzarem-se durante a movimentação (Figura 2.1 (B)).

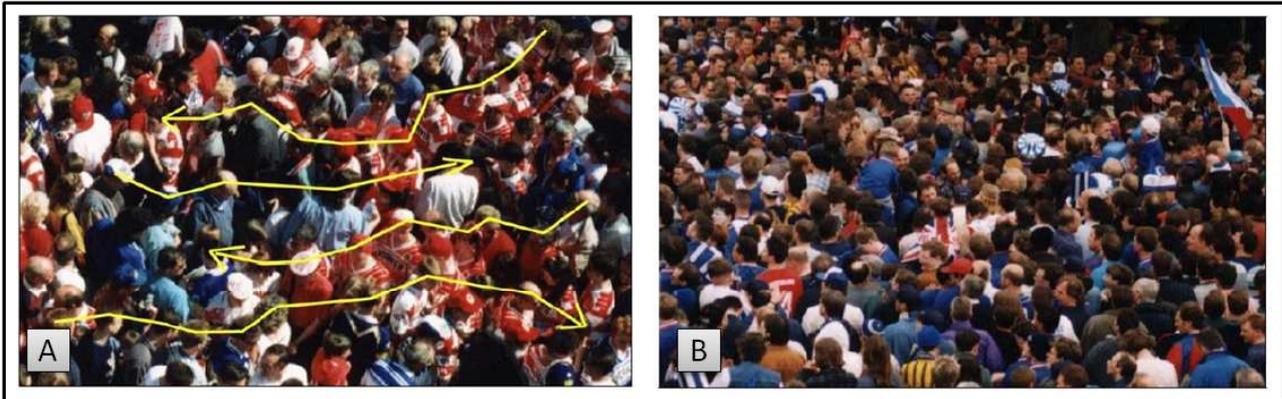


Figura 2.1: Efeitos de auto-organização em multidões: em A, observa-se, devido à alta densidade de indivíduos, a formação de vias de pedestres que se deslocam na mesma direção considerando a lei do mínimo esforço. Em B, observa-se o possível efeito de redução da velocidade devido à alta densidade de indivíduos na multidão que se desloca de encontro a outra (observação possível devido ao posicionamento das faces) [38].

Tais fatores, observados até então, devem ser considerados nos modelos que produzem simulação de multidões para que seja possível a obtenção de uma simulação coerente e realista. Dentre as áreas de aplicação de simulações de multidões produzidas por computador pode-se considerar a engenharia (de tráfego e civil) e também sistemas de segurança para treinamento e evacuação de ambientes. Além disso, tais modelos também possuem aplicabilidade na indústria do entretenimento, produzindo resultados aplicáveis em jogos e filmes.

2.2 O Modelo *BioCrowds*

O Modelo *BioCrowds* foi desenvolvido por Bicho [4] e visa simular multidões considerando características presentes na dinâmica de multidões. Em sua essência, o *BioCrowds* considera uma abordagem biológica de colonização do espaço proposta por Runions [34], com o intuito de simular o desenvolvimento de nervuras em folhas de plantas.

No modelo de Runions, a lâmina da folha é povoada por auxinas, hormônio pelo qual as nervuras competem visando seu crescimento. Conforme o crescimento da nervura evolui, novas auxinas são distribuídas na lâmina da folha considerando o espaço ainda hábil para o seu crescimento. Esse conceito de competição entre as nervuras pelo espaço disponível para seu crescimento é simulado por Runions através de um algoritmo para colonização do espaço [35].

Por sua vez, Bicho realiza a representação explícita de espaços livres em um ambiente virtual através da utilização de um conjunto de pontos denominados marcadores. Os marcadores são tratados como recursos pelos quais os agentes, presentes na multidão, competem.

O modelo também considera o conceito de proxêmica, apresentado anteriormente, definindo o espaço pessoal de cada agente na multidão. A verificação em relação à vizinhança do agente é possível através da quantidade de marcadores relacionados ao agente onde a identificação de proxêmica considera o conjunto de marcadores que estão mais próximos de um agente do que qualquer outro. Com base nisso, o modelo define uma "área de percepção" que circunscreve o agente, permitindo-o conhecer os marcadores distribuídos no ambiente virtual e identificar os que estão contidos em seu proxêmica. A Figura 2.2 denota o conceito de proxêmica no *BioCrowds*: Os agentes são representados por pequenos quadrados coloridos dentro de uma área de percepção do espaço. Os agentes e seus marcadores alocados são representados pela mesma cor.

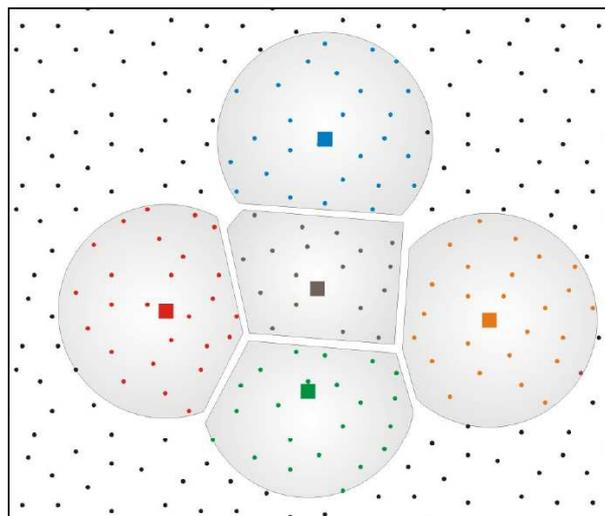


Figura 2.2: Representação de cinco agentes e seus respectivos espaços pessoais. Os marcadores presentes no espaço pessoal de cada agente são representados por cores diferentes conforme o agente e são considerados no cálculo do próximo passo [4].

Considerando os marcadores presentes no espaço pessoal, define-se o próximo passo do agente na busca de seu objetivo. O movimento de cada agente é calculado iterativamente e a cada iteração, a posição e o vetor, que indicam o objetivo do agente, são atualizados. Nessa atualização, considera-se o conjunto de marcadores que estão mais próximos a determinado agente do que outros no espaço. Ao considerar vários agentes, emerge a decomposição do espaço conhecida como Diagrama de Voronoi [28].

A abordagem efetuada pelo *BioCrowds*, proposta por Bicho, mantém diversas características referentes ao modelo de colonização de espaço proposto por Runions [34]. Entretanto, adaptações do modelo de Runions foram necessárias para prover o modelo de simulação

de multidões, as quais são listadas a seguir:

- **Restrição do espaço das auxinas:** no modelo de Runions para geração de nervuras em folhas em plantas, uma nervura pode interagir com qualquer auxina presente na lâmina da folha. No *BioCrowds*, o agente somente é influenciado por marcadores que encontram-se dentro de seu proxêmica.
- **Persistência das auxinas:** as auxinas são removidas da lâmina da folha quando encontram-se dentro de um limiar previamente definido. Já no modelo proposto por Lima Bicho, os marcadores são mantidos no ambiente durante toda a simulação. Os marcadores contidos no espaço pessoal do agente mais próximo a eles tornam-se temporariamente disponíveis somente ao agente em questão, sendo liberados após o seu deslocamento, quando então o processo de interação repete-se, definido-se um novo proxêmica.
- **Deslocar-se ao destino (*goal seeking*):** A direção das nervuras é definida de acordo com a disponibilidade das auxinas. Já no *BioCrowds*, o deslocamento, além de considerar a disponibilidade de marcadores, também é influenciado por um objetivo a ser alcançado pelos agentes.
- **Adequação da Velocidade:** No algoritmo de colonização do espaço, as nervuras crescem considerando velocidade constante. Entretanto, no modelo para simulação de multidões, as velocidades dos agentes variam considerando a disponibilidade de espaço e suas velocidades máximas.

A Figura 2.3 apresenta algumas simulações produzidas pelo *BioCrowds*: em A, pode-se observar o deslocamento dos agentes, bem como os marcadores presentes no respectivo espaço pessoal, associados aos agentes através de segmentos de reta. em B, observa-se o deslocamento dos agentes, os quais são estão circundados a fim de representar-se o espaço pessoal de cada um.

Os resultados obtidos pelo *BioCrowds*, podem ser relacionados com multidões reais, como o fato de cada agente manter seu espaço pessoal, o qual diminui com o aumento da densidade de agentes no espaço. Além disso, outras características podem ser observadas, como a formação de *lanes*, ou vias de pedestres que se dirigem ao mesmo destino.

Como uma limitação do modelo, pode ser identificado o fato de os agentes serem guiados, além do objetivo, pela existência ou não de marcadores no espaço, ou seja, os marcadores são homogêneos entre si. Estima-se que possa ser possível para a multidão, considerar atributos relacionados aos marcadores no desenvolver do deslocamento, definindo características dos espaços. Com isso, provendo a possibilidade, de que durante o deslocamento dos agentes, sejam consideradas características geográficas e outros obstáculos envolvidos no terreno em que a a multidão se locomove.

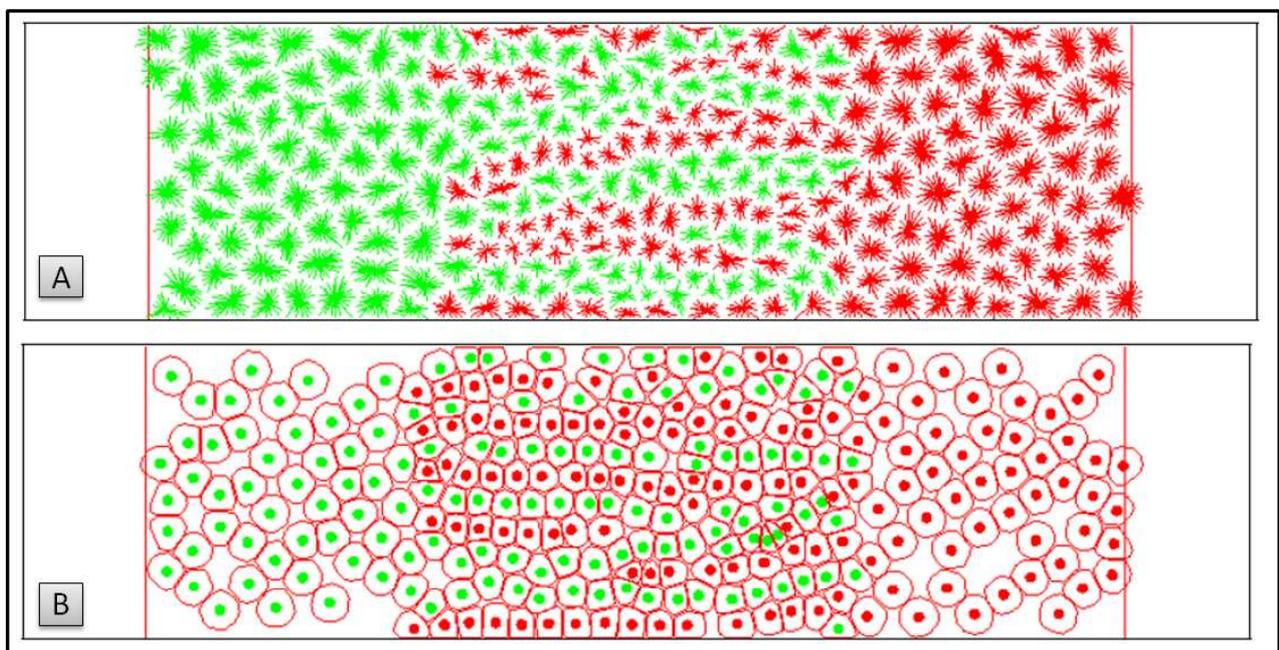


Figura 2.3: Resultados de simulações efetuadas no *BioCrowds*: a imagem A apresenta os agentes e seus marcadores alocados, associados ao agente por segmentos de reta. A imagem B mostra somente os agentes, os quais possuem uma espécie de circunferência em torno de si para representar o espaço pessoal de cada um [4].

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo contempla os trabalhos relacionados às áreas de estudo consideradas na produção deste trabalho: Simulação de Multidões e Raciocínio de Terrenos. Primeiramente, são descritos modelos computacionais, presentes na literatura, que visam produzir simulação de multidões. Em seguida, são apresentados trabalhos relacionados a raciocínio de terrenos, ou seja, os modelos consideram a movimentação de personagens em um ambiente observando suas características. Além disso, este capítulo apresenta também, exemplos de aplicações de simulações de grupos de agentes na indústria, em aplicações que englobam desde entretenimento, até questões de segurança.

3.1 Modelos para Simulação de Agentes Virtuais

Considerando características que podem ser observadas em grupos e multidões reais, verificam-se diversos trabalhos que propõem modelos computacionais com o intuito de simulá-los. Diferentes abordagens são encontradas na literatura, variando entre abordagens baseadas em partículas [32, 2], agentes [27, 47] e até mesmo a utilização de uma abordagem biológica baseada em colonização do espaço [4], entre outras. As próximas seções apresentam um *overview* a respeito sobre o estado-da-arte, destacando e apresentando os modelos computacionais existentes na literatura com o intuito principal de simular pequenos grupos de agentes e até mesmo multidões.

3.1.1 Simulação individual e de pequenos grupos de agentes

Pensando na animação de pequenos grupos, e utilizando-se de partículas, Reynolds [32] desenvolveu um trabalho para simulação de bandos de pássaros, rebanhos de animais e cardumes de peixes que pode ser considerado um dos precursores na animação comportamental. O autor representa cada personagem envolvido no grupo como uma partícula e denomina-o de *boid* (*bird object*). Cada *boid* consegue perceber o ambiente virtual e com isso, manter sua posição e orientação no grupo através de três regras, que aplicadas em conjunto, podem prover comportamentos emergentes. A seguir apresentam-se as regras definidas pelo autor, bem como, na Figura 3.1 ilustra-se um dos resultados do modelo de *boids*.

1. Evitar colisões: cada *boid* mantém uma distância mínima de seus vizinhos e obstáculos.
2. Manter a velocidade: cada *boid* mantém uma trajetória de acordo com os seus vizinhos, para isso controlando a velocidade.

3. Manter o agrupamento: para isso, cada *boïd* mantém sua orientação próxima ao centroide de seus vizinhos, ocasionando assim na semelhança a bando de pássaros.



Figura 3.1: Comportamento emergente dos *boïds*, onde pode-se observar o agrupamento e o movimento direcionado dos agentes [32]

A fim de produzir a dinâmica de pedestres, Helbing *et al.* [14, 15, 13] desenvolveram um modelo baseado em forças sociais. O conceito de forças sociais considera o fato de que pedestres adotam determinadas estratégias de comportamento através de estímulos oriundos de situações rotineiras. Tais estímulos são responsáveis por provocar reações nos pedestres. Assim sendo, tais ações podem ser consideradas habitualmente *automáticas* e *previsíveis*. Na percepção dos autores, os estímulos que atuam sobre o pedestre são considerados forças psico-sociais. Tais forças refletem influências no comportamento do pedestre, sendo capazes de:

- Manter o pedestre longe de obstáculos.
- Manter o pedestre distante de outros pedestres para evitar colisões.
- Aproximar pedestres "conhecidos", como familiares ou amigos.

3.1.2 Simulação de Multidões

Considerando a descrição de entidades, as quais podem ser multidões, grupos ou agentes, Bouvier *et al.* [2] desenvolveram uma abordagem baseada em sistemas de partículas para multidões na qual os indivíduos são representados por grupos de partículas que interagem entre si. Para efetuar as decisões do agente em busca do objetivo os autores fazem uso das forças de Newton. Além disso, os autores desenvolveram dois conceitos para modelar decisões humanas, os quais foram chamados de *cargas* e *campos* de decisão. Da mesma forma que partículas são influenciadas por um campo elétrico, essas novas cargas de decisão são influenciadas pelos seus campos. Além disso, no referido modelo, os agentes podem se deslocar em grupos, evitando colisões, e tendo sua velocidade controlada através da utilização de uma força de atrito.

Musse propõe uma metodologia em sua tese de doutorado [25], denominada de *KSI*. Essa metodologia é composta por três tipos de informação: *Knowledge*, *Status* e *Intentions*. *Knowledge*, ou conhecimento, diz respeito à memória das entidades; *Status* refere-se aos atributos das entidades e *Intentions* dizem respeito aos objetivos. Dentre as contribuições do trabalho, pode-se considerar como principais a estrutura hierárquica baseada em grupos para compor a multidão, bem como, a possibilidade de alterar a complexidade dos comportamentos dos grupos e agentes conforme a situação que deseja-se simular.

Em outro trabalho, Musse e Thalmann desenvolvem um modelo hierárquico que considera grupos para simulação de multidões [27]. O modelo que utiliza humanos virtuais para representar indivíduos permite que comportamentos sejam definidos para cada agente ou grupos deles. Tais comportamentos permitem que as multidões sejam caracterizadas em três categorias:

1. Guiadas: Possuem baixo nível de autonomia, inteligência e complexidade de comportamentos. O nível de interação desse tipo de multidão é alto, e a mesma ainda pode ser direcionada através de um controle externo (*mouse*), ou outras interfaces.
2. Programadas: Possuem nível médio de autonomia e inteligência, porém a complexidade dos comportamentos e o nível de interação é variável.
3. Autônomas: Possuem alto nível de autonomia, inteligência e complexidade de comportamentos, além de nível de interação variável.

Still trabalha com dinâmica de multidões e em sua tese de doutorado [38] desenvolveu uma série de programas para analisá-las. Denominado de *Legion*, o *framework* considera quatro regras comportamentais que são aplicadas aos agentes envolvidos na multidão: objetivo, mobilidade, limitação e assimilação. Para tal interação, utiliza-se um algoritmo denominado de algoritmo de *mínimo esforço*, o qual considera cada entidade presente na multidão como um indivíduo e sua posição é calculada através da análise do cenário para a identificação da ação mais conveniente. O sistema em questão foi utilizado para simulações de multidões para as Olimpíadas de Sydney, além disso, o autor atualmente trabalha com diversos projetos de simulação em diferentes áreas¹.

Considerando conhecimentos individuais em multidões, Braun *et al.* [3] desenvolveram um modelo para verificar o impacto das características individuais dos agentes em situações de emergência inspirado no modelo de Helbing [13]. Em buscas de reações variadas por partes dos agentes na simulação, diferentes características são incorporadas aos grupos e aos agentes envolvidos, simulando uma população heterogênea. Para cada agente é

¹G. Keith Still (<http://www.gkstill.com/>) é fundador e diretor da empresa *Crowd Dynamics*, empresa que trabalha com dinâmicas de multidão em situações normais e emergência (<http://www.crowddynamics.com>).

definida uma série de propriedades: um identificador próprio, identificador da família a qual pertence, nível de dependência, nível de altruísmo, e módulo da velocidade desejada. Para a formação de grupos é considerada a força definida com os valores de altruísmo de dois ou mais seres da mesma família. Outra funcionalidade implementada é o resgate de agentes dependentes por agentes altruístas, o que faz que as velocidades dos dois se iguale para que possam se mover juntos.

Representação de vida artificial composta por componentes cognitivos, comportamentais, perceptivos e motores é o objetivo do sistema de animação humana proposto por Wei Shao e Demetri Terzopoulos [36]. O componente comportamental apresenta um conjunto de regras que tem como objetivo conter colisões e produzir comportamentos específicos de multidões tais como a formação de vias de pedestres e a lei do mínimo esforço. O comportamento definido como cognitivo define o conhecimento e percepção do mundo pelo agente. Para prover o realismo da simulação, os autores evidenciam que os componentes cognitivos e comportamentais trabalham acoplados em uma hierarquia de dois níveis.

Morini *et al.* [24] desenvolveram um modelo capaz de evitar colisões e planejar caminhos para multidões, o qual é baseado em grafos de navegação [30]. Para prover o deslocamento dos personagens no ambiente, tal modelo define fluxos de navegação entre os vértices. Além disso, pode-se dividir o ambiente em regiões, onde cada região pode considerar uma diferente técnica para o planejamento de movimento. Assim sendo, os autores também definem regiões de interesse para que seja possível simular um grande número de agentes. Tais regiões de interesse classificam-se de acordo com o realismo e o tempo computacional para a simulação. Quanto mais realista for a simulação desejada, maior será seu custo computacional, devido à adoção de uma técnica com custo computacional elevado.

3.2 Raciocínio de Terrenos

Considerando um ambiente virtual, determinadas situações (em jogos, animações, simulações) podem exigir que um personagem, ou um grupo deles, se locomova pelo ambiente, indo de determinado ponto até outro. Mesmo sem conhecer as características do ambiente, o agente deve efetuar a locomoção em busca de seu objetivo, evitando obstáculos, produzindo trajetórias com aparência realista em tempo real. Neste contexto, pode-se verificar diferentes abordagens que consideram esta situação em computação gráfica.

Esta abordagem foi inicialmente proposta na área da robótica, visto da necessidade da locomoção de robôs em ambiente tridimensionais, evitando obstáculos e colisões [18]. Existem diferentes abordagens que consideram esta situação em computação gráfica (CG). Em ambientes 3D, como jogos, o terreno pode representar ambientes internos e também externos, cada qual com suas devidas características. Neste estudo, considera-se raciocínio de terrenos em CG, como sendo mais que *path planning* ou somente navegação em

ambientes, visto que é levada em consideração a interação dos agentes com obstáculos e características do próprio terreno (lagos, buracos).

Algoritmos que propõem-se a tratar situações deste tipo devem fornecer o movimento e raciocínio de um personagem de forma coerente. Tal coerência deve ser mantida quando o número de personagens envolvidos aumentar, e passarem a ser considerados multidões. Além disso, os algoritmos devem produzir resultados em tempo real, bem como, a trajetória produzida deve ser suave, a fim de prover movimento realista em comparação ao deslocamento de seres humanos reais.

Verificando abordagens disponíveis na literatura, pode-se observar que o grupo de pesquisa de Barry Reich pode ser visto como um dos pioneiros no que diz respeito a trabalhos envolvendo raciocínio de terrenos em CG [17, 31, 23]. O grupo propõe a utilização de sensores para que os agentes consigam perceber o ambiente, e através das informações recebidas dos sensores, definir o próximo passo a ser dado. Existem quatro tipos de sensores considerados para prover a movimentação do agente no espaço, são eles:

- **Atratores:** Efetuam atração do agente, com o intuito principal de guiar o agente até seu objetivo. Além disso podem ser utilizados para atração de agentes próximos com objetivo de manutenção do grupo.
- **Repulsores:** Apresenta o conceito de repulsão, a fim de afastar o agente de objetos presentes no terreno para evitar colisões.
- **Sensores de terreno:** Avalia a posição e orientação no ambiente com base no tipo de terreno: solo, água, etc.
- **Sensores de hostilidade:** Evita que os agentes utilizem regiões hostis durante a locomoção. Assim sendo, o nível de repulsão a estas regiões é maior, quanto mais próximo da região o agente estiver.

Com a utilização de sensores, torna-se possível a definição de várias percepções do terreno, as quais resultam em diferentes ações possíveis. Dentre os resultados, os autores destacam diferentes tipos de deslocamento conforme a situação: caminhada tradicional lateral, frontal, de costas e corrida, além da transição entre os tipos de deslocamento para produzir continuidade do movimento. Após cada passo do agente no espaço, a verificação dos sensores é novamente executada para o passo seguinte, com isso, torna-se possível o tratamento a ambientes dinâmicos, visto que as características do mesmo são verificadas a cada passo.

3.2.1 Algoritmos para *Path Planning* na Simulação de Grupos e Multidões

Existem abordagens que fazem uso das informações a respeito de obstáculos e características do terreno na produção de *path planning* e *pathfinding*. Para isso, pode-se

utilizar alguns algoritmos de Inteligência Artificial (IA) para produzir resultados em diferentes aplicações. Tais algoritmos atuam com o objetivo de definir como um NPC, *Non-player character*, se movimentar de um ponto a outro no espaço considerando características do terreno e obstáculo. É o caso dos algoritmos Dijkstra [5] e A* [11, 39].

O algoritmo Dijkstra foi inicialmente proposto para decisões táticas a fim de resolver problemas matemáticos em teoria de grafos, sem ter relação com produção de *pathfinding* em jogos. No que diz respeito à locomoção de personagens, considera-se que existe um ponto inicial e um objetivo a ser alcançado. Assim sendo, o algoritmo calcula as melhores rotas, as mais curtas, com base no ponto inicial e os demais pontos mapeados no ambiente. O segundo algoritmo, A*, foi desenvolvido para busca de caminho ponto a ponto e propõe-se a encontrar um caminho possível, caso exista. Pode ser utilizado para casos complexos pois trabalha na mesma sistemática do Dijkstra, no qual dado um grafo com dois nodos (ponto de início e objetivo) gera o melhor caminho a ser percorrido considerando todos os caminhos possíveis.

O grupo de pesquisa de Aneesh Sud [41, 40] desenvolveu um algoritmo para *path planning* e navegação de múltiplos agentes virtuais em cenas dinâmicas complexas, o qual produz resultados em tempo-real. Para isso, propôs uma nova estrutura de dados, denominada *Multi Agent Navigation Graph* (MaNG). Tal estrutura é gerada utilizando recursos de GPU e considera Diagramas de Voronoi, onde o vértice do diagrama que encontra-se mais próximo ao agente passa a ser seu próximo destino na navegação. Além disso, para a locomoção dos agentes, é considerado o modelo para dinâmica de pedestres proposto por Helbing *et al.* [12]. O método pode ser utilizado para simulação de multidões em tempo real, suportando grande número de agentes com objetivos distintos.

Karamouzas *et al.* [16], apresentam um modelo para *path planning* aplicável em jogos e ambientes virtuais 3D. Denominada *Indicative Route Method* (IRM), a técnica determina uma rota global livre de colisões para personagens que necessitam se locomover de um ponto a outro em ambientes complexos. As fases de execução do IRM podem ser observadas na Figura 3.2 e encontram-se descritas a seguir:

1. Definição da Rota Indicativa: É construída com base no ponto de início e objetivo almejado pelo agente. Pode também, ser indicada manualmente por um designer através da utilização de *waypoints*. Alternativamente, também pode-se calcular a rota indicativa com base no eixo médio do ambiente ou também adotar uma abordagem onde o ambiente é representado em forma de *grid* e utiliza-se conceitos do algoritmo A* para a definição da Rota.
2. Criação do Corredor: Um corredor é criado a partir da rota definida na fase anterior. O principal objetivo do corredor, originalmente proposto por Geraerts e Overmars [9], é fornecer um espaço para navegação em que o agente consiga se locomover sem

colisões com objetos do ambiente. Para definir o espaço livre de colisão, utiliza-se Diagrama de Voronoi em relação aos obstáculos presentes no ambiente, onde as arestas produzidas pelo diagrama representam os caminhos possíveis a serem adotados para a trajetória.

3. Definição da Trajetória: Após a definição do corredor, um ponto de atração é movido dentro do mesmo a fim de definir a trajetória a ser seguida pelo agente em direção ao objetivo. Trajetória esta que é definida para representar uma movimentação coerente, com trajetória suave, da mesma forma que a locomoção humana.

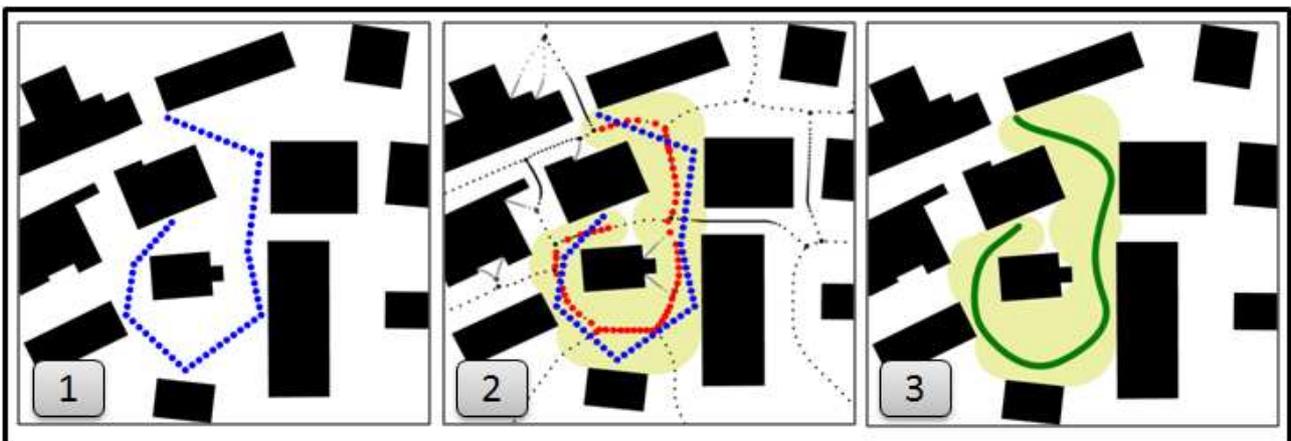


Figura 3.2: Fases do IRM: 1-definição da Rota Indicativa apresentada em azul; 2-criação do Corredor, onde em azul está representada a rota indicativa e em vermelho apresenta-se a rota possível adotada após a verificação do Diagrama de Voronoi gerado com base nos obstáculos presentes no ambiente; 3-definição da Trajetória final a ser seguida pelo agente para alcançar o objetivo proposto [16].

Para simulação de multidões, com grande número de agentes, o processo de definição da rota indicativa é um pouco diferente, visto que uma multidão, para se locomover de um ponto a outro, pode utilizar caminhos diferentes. Assim sendo, considera-se o conceito de redes indicativas. Uma rede indicativa contempla um *roadmap* de caminhos que podem ser usados pelos personagens para chegar ao objetivo, onde as conectividades entre os espaços possíveis são verificadas e analisadas em forma de grafo. Outra possibilidade para gerar a rede indicativa, é adotar uma abordagem baseada no Diagrama de Voronoi. Após a definição da rede indicativa, utiliza-se uma abordagem considerando o algoritmo A* para identificar o melhor caminho até o objetivo, conforme a posição dos agentes envolvidos. Após isso, as demais fases são realizadas normalmente.

Jur van den Berg *et al.* [44] apresentam uma abordagem para navegação interativa e planejamento de caminhos multiagente para multidões. O modelo faz uso, para o planejamento global, de um mapa de rotas e obstáculos estáticos definido em uma fase de pré-processamento. Em posse do mapa, são calculadas as distâncias de todos os nodos até

um local específico (objetivo) através do algoritmo de Dijkstra [5]. Com isso, cada agente define um caminho independente de colisões onde os outros agentes são vistos como objetivos dinâmicos. Considerando o ambiente local, os autores adotaram um trabalho anterior [43] que possibilitou o uso de uma formulação geométrica denominada *Reciprocal Velocity Obstacles - RVO*. A RVO visa resolver problemas de oscilação na orientação dos agentes em ambientes com alta densidade populacional.

Através da leitura desta seção, observa-se a variedade de métodos utilizados na produção de simulação de multidões e raciocínio de terrenos, considerando diferentes técnicas de movimentação e percepções adotadas pelos autores. A partir disto, também pode-se observar a necessidade da interação entre os personagens da simulação com características do terreno na produção de resultados realistas.

3.3 Aplicações dos Modelos para Simulações

Em aplicações de segurança, simulações de multidões podem ser realizadas com o objetivo principal de simular situações de aglomeração de indivíduos visando medir conforto e segurança. Para isso, busca-se simular o comportamento das multidões e os cenários de acidentes.

Dentre as aplicações de tais simulações pode-se citar o treinamento de responsáveis pela segurança do ambiente, simulações de evacuações e testes de cenários a serem construídos. Ao simular uma situação de emergência, os indivíduos devem ter simuladas suas percepções, decisões e ações:

- Percepções auditivas, visuais, olfativas e de comunicação.
- Decisões e ações considerando questões como: Para onde ir? Quando reagir? Quando Fugir? É necessário tentar resgatar alguém? Qual das percepções é mais importante para decisão?

Para simular a decisão dos agentes pode-se utilizar diversos algoritmos de tomada de decisão, os quais podem ser baseados em física, inteligência artificial e geometria.

Dentre alguns *cases* de simulação de multidões em segurança, pode-se citar o trabalho realizado pela empresa *Legion*² para os jogos olímpicos de Sydney. Na ocasião, o comitê olímpico solicitou que fosse simulada a circulação de pedestres pelo parque olímpico. As simulações realizadas apresentaram a possibilidade de congestionamentos em determinados pontos do parque olímpico, o que fez que o mesmo tivesse seu projeto de construção alterado.

Ainda considerando jogos olímpicos, Zhu *et al.* [48] apresentaram uma abordagem produzida para os jogos olímpicos de Pequim, em 2008. Na ocasião, os autores desenvolveram

²<http://legion.com>.

um método para simular o tráfego de pedestres a fim de garantir a segurança e conforto da multidão formada por delegações de diversos países e milhares de expectadores durante o período dos jogos. Para produzir a simulação, dados foram coletados e foi realizado um estudo de caso no *National Stadium* o principal estádio dos jogos. Dentre a produção da simulação, foram levadas em conta características de pedestres como o número de envolvidos, o desequilíbrio do número de pedestres em situações temporárias e a distribuição espacial dos pedestres.

No Brasil, um exemplo de simulação de multidões em aplicações de segurança pode ser visto no projeto *PetroSim*. Trata-se de um sistema para simulação de multidões em situações de emergência produzido para a Petrobras [1, 26], onde desenvolveu-se um *framework* que oferece aos Engenheiros de Segurança da Petrobras a possibilidade de simular multidões em diferentes situações de pânico. Para a aplicação do projeto foi escolhida a comunidade São José, distante cerca de 300 km de Natal, RN. A comunidade composta por cerca de 350 pessoas foi escolhida pois vive próxima a instalações da Petrobras. Na Figura 3.3 pode-se observar em (A) a representação virtual da comunidade São José sendo atingida por uma dissipação de gás, além de os pontos seguros representados pelas bandeiras. Em (B), apresenta-se os moradores virtuais se dirigindo aos pontos seguros.

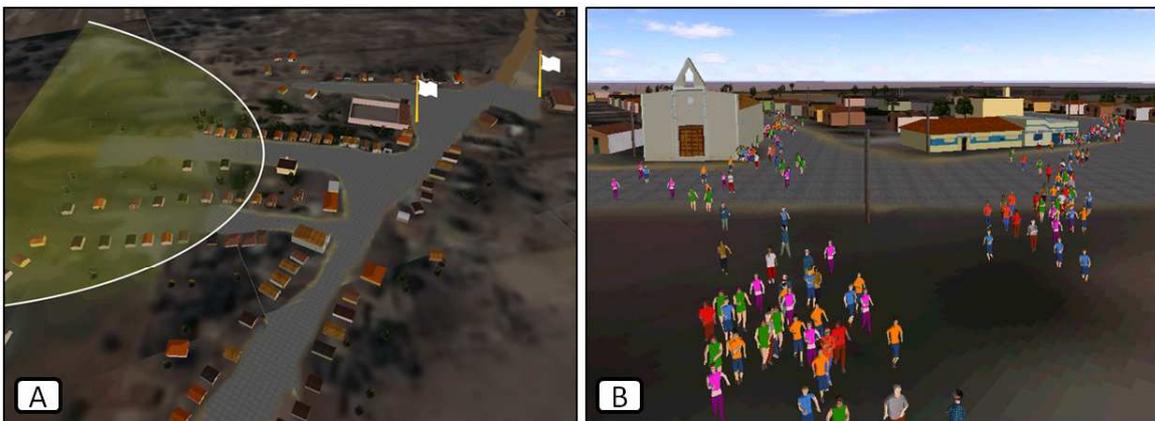


Figura 3.3: Resultados do projeto *PetroSim*. Em (A) a ocorrência de situação de pânico e os pontos seguros representados por bandeiras; e em (B) o deslocamento dos moradores virtuais em relação aos pontos seguros.

Já na área de entretenimento, diversas são as aplicações de simulação de grupos de personagens multidões como por exemplo no cinema. Diversos filmes produzidos nos últimos anos utilizam-se deste recurso, dentre os quais encontram-se ilustrados na Figura 3.4 as produções de sucesso *Avatar*³, *O Senhor dos Anéis*⁴, *Eu Robô*⁵ e *King Kong*⁶.

³<http://www.avatarmovie.com>.

⁴<http://www.lordoftherings.net>.

⁵<http://www.foxfilm.com.br/eurobo>.

⁶<http://www.kingkongmovie.com>.

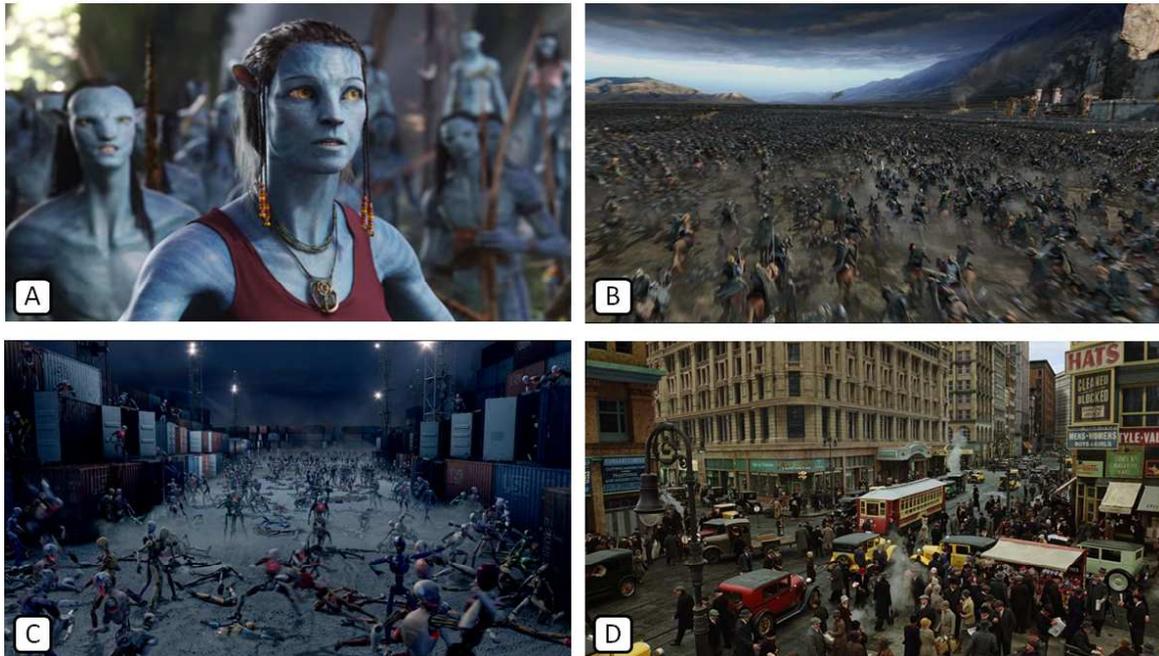


Figura 3.4: Simulação de Multidões em produções cinematográficas: A) Avatar; B) Senhor dos Anéis; C) Eu, Robô e D) King Kong.

Personagens tri-dimensionais podem ser colocados na cena representando grupos em situações específicas. Tal situação pode ser observada no filme *Titanic* onde o movimento de atores reais foi capturado e aplicado em personagens 3D durante o naufrágio do navio. Um exemplo é apresentado na Figura 3.5, onde todas as pessoas da imagem são digitais.



Figura 3.5: Utilização de pessoas digitais no filme *Titanic*.

Com isso, a simulação de personagens na cena propicia, além de outras vantagens, a facilidade de direção da mesma. Tal facilidade pode ser considerada no fato de que o diretor pode focar seu trabalho na direção do núcleo da cena, e os personagens secundários por sua vez, são gerados e simulados computacionalmente.

3.4 Contextualização do Trabalho no Estado-da-arte

Analisando a fundamentação teórica apresentada no Capítulo 2 juntamente com os trabalhos relacionados no presente capítulo, converge-se à contextualização do presente trabalho dentro do estado-da-arte. O trabalho aqui apresentado se encaixa no encontro das duas áreas de pesquisa descritas: simulação de multidões e raciocínio de terrenos.

Assim sendo, o trabalho busca um ponto de encontro entre as duas áreas, pois tem como principal contribuição, a adequação de um modelo biológico para simulação de multidões [4] a fim de que o mesmo passe a englobar o conceito adotado para raciocínio de terrenos. Com isso, objetiva-se que agentes possam se locomover em um determinado espaço considerando as características do mesmo, bem como a existência de objetos e obstáculos presentes, além da busca da melhor trajetória.

Em busca disso, partiu-se para a adequação do modelo *BioCrowds* ao conceito proposto. Para isso, o desenvolvimento do trabalho foi amparado pela hipótese de que **marcadores diferenciados, incorporados ao modelo para simulação de multidões, podem ser utilizados na descrição de características do terreno**. O próximo capítulo contempla as adequações realizadas no BioCrowds, e apresenta o modelo proposto.

4. MODELO PROPOSTO

O presente trabalho faz parte de um projeto integrado desenvolvido através do VHLab - *Virtual Humans Simulation Laboratory*¹ que compreende o processo de geração de terrenos, simulação e visualização de personagens.

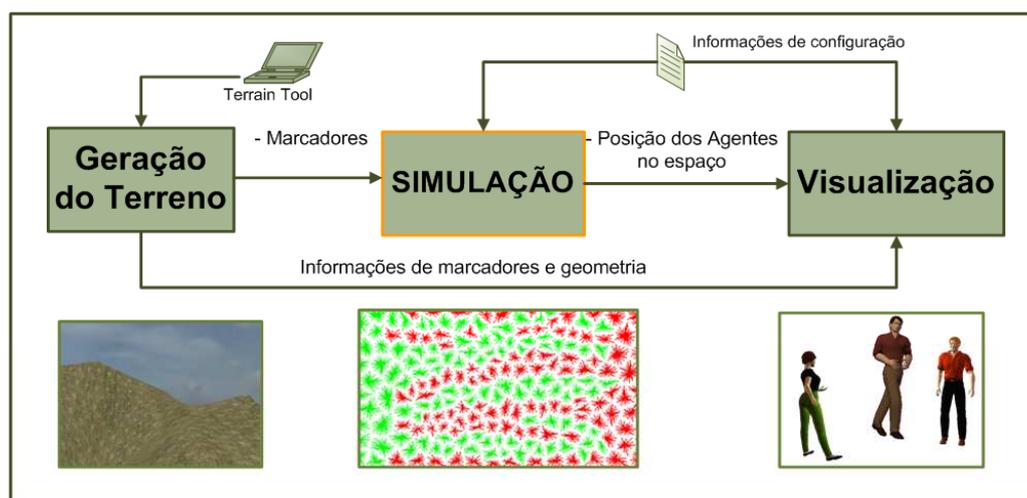


Figura 4.1: Estrutura do projeto em que o presente modelo está inserido. Tal estrutura é composta pelos módulos de geração de terrenos, simulação do movimento de personagens no terreno e visualização do movimento com humanos virtuais.

A estrutura considerada pelo projeto integrado pode ser observada na Figura 4.1 e compreende os seguintes módulos:

- **Geração de Terrenos:** O processo é amparado através da utilização da ferramenta *TerrainTool*. A ferramenta realiza a geração do terreno e também permite a definição de regiões diferenciadas que devem ser consideradas no movimento dos agentes como por exemplo, regiões de livre navegação, bem como regiões onde a navegação não é permitida, ou então é permitida, porém não preferencial. Além disso, considerando geometria do terreno gerado, a ferramenta produz informações necessárias ao módulo de simulação: marcadores representando o ambiente.
- **Simulação de Agentes:** Juntamente com informações originárias no terreno (marcadores), o trabalho aqui apresentado utiliza o modelo *BioCrowds* [4] para efetuar a simulação do movimento dos agentes e prover o conceito de raciocínio de terrenos.
- **Visualização:** Considerando informações do terreno (geometria e marcadores) juntamente com dados da simulação (posição dos agentes em relação a tempo/espaço) produz a visualização de humanoides 3D se movimentando no terreno.

¹<http://www.inf.pucrs.br/~vhlab>.

O modelo apresentado nesta dissertação, considera como foco principal a fase de simulação, que possui como objetivo central a produção do movimento de personagens através de um terreno e para isso considera as características presentes e definidas no mesmo. Levando-se em conta tais características, que podem representar espaços onde o movimento de personagens pode ocorrer sem restrição ou até mesmo onde o movimento não é permitido, as simulações produzem dados (posição dos agentes no espaço) que são utilizados no módulo seguinte, ou seja, a visualização da movimentação de personagens com a utilização de humanos virtuais em um ambiente 3D.

Para produzir a simulação do movimento dos personagens através do terreno, utiliza-se o modelo *BioCrowds* [4], ao qual agregou-se o conceito de *terrain reasoning* ou raciocínio de terrenos. Conforme descrito na Seção 2.2, o modelo para simulação considera o conceito de marcadores pelos quais os agentes competem na definição do seu movimento. Para a integração do novo conceito ao modelo original, os marcadores deixam de ser gerados na fase de simulação e passam a ser recebidos na entrada da mesma, oriundos do terreno, pois passam a representar além do espaço, as características presentes no meso.

As próximas seções descrevem o modelo proposto. Inicialmente é apresentada a abordagem considerada para raciocínio de terrenos 4.1 e, em seguida, são apresentadas as demais fases do processo realizado a fim de simular o movimento dos agentes, compreendendo:

- Definição de marcadores (Seção 4.2);
- Definição do movimento dos agentes. (Seção 4.3);
- Realização de *path planing* (Seção 4.4).

Na sequencia, após a definição do moviemnto dos agentes considerando o conceito de raciocínio de terrenos, é apresentada a aplicação do modelo para simulações em ambientes internos (Seção 4.5.

4.1 Raciocínio de Terrenos neste Trabalho

Conforme apresentado por Reich *et al.* [31], através do conhecimento do cenário, um agente deve ser capaz de se movimentar de um ponto específico a outro, evitando obstáculos geográficos e desviando de objetos, considerando o espaço disponível à locomoção. Para isso, é necessário que o agente conheça estas características do ambiente durante o processo de tomada de decisão de cada passo dado em seu deslocamento.

Assim sendo, neste trabalho, considera-se o conceito de raciocínio de terrenos como mais que somente *path planning* ou *pathfinding*. Objetiva-se a interação dos agentes com o ambiente e suas características a fim de prover a locomoção pelo espaço de forma suave

e consistente, refletindo comportamentos já apresentadas, como por exemplo a lei do mínimo esforço [15] abordada na Seção 2.1. Para isso, o modelo proposto considera regiões especificadas no terreno com diferentes propósitos, conforme segue:

- Regiões de livre movimentação: pode representar regiões propícias à locomoção, como ruas, calçadas, etc.
- Regiões de movimentação restrita: Regiões definidas como preferencialmente não utilizáveis à locomoção, mas que em situações específicas tornam-se disponíveis, como por exemplo; gramados, margens de rios, etc.
- Regiões de movimentação proibida: espaço ocupado por obstáculos, por exemplo buracos e objetos que devem ser desviados durante a trajetória.

Para agregar o conceito de raciocínio de terrenos ao modelo *BioCrowds* propõe-se incluir novos atributos aos marcadores. Assim, cada marcador passa a identificar a região a qual faz parte. A próxima seção descreve detalhes do processo de definição de marcadores.

4.2 Definição de Marcadores

Diferentemente do modelo original, o modelo apresentado neste trabalho recebe marcadores definidos no processo de geração do terreno. Para esta definição, considera-se a malha de triângulos do terrenos juntamente com os seguintes passos:

1. Identifica-se o triângulo de menor área, o qual será utilizado como referência.
2. Para cada triângulo componente da malha, verifica-se se a sua área é superior a um determinado limiar.
3. Sendo a área maior que o limiar definido, o triângulo é subdividido e os novos triângulos são validados. Empiricamente, definiu-se o limiar aqui utilizado, como sendo 35% maior que a área do menor triângulo.
4. Após adequar a malha para que todos os triângulos tenham área similar, calcula-se o ponto central de cada triângulo. Por fim, a lista de centróides dos triângulos representa o conjunto de marcadores utilizados como entrada para a fase de simulação.

Ao fazer uso destes marcadores para a simulação, é possível reproduzir o formato do terreno no ambiente de simulação através da disposição dos marcadores no espaço como pode ser observado na Figura 4.2.

A fim de prover o raciocínio de terrenos, o modelo considera informações dos marcadores que identificam a região em que o mesmo se encontra, bem como a semântica que a mesma representa. Para os conceitos definidos, os marcadores podem representar regiões:

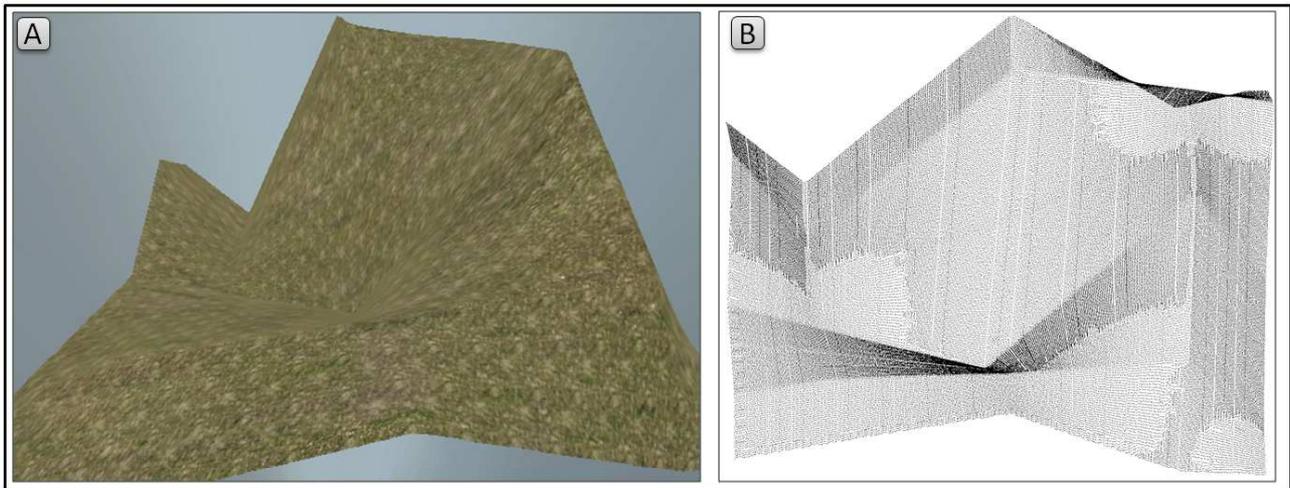


Figura 4.2: Em (A), a representação de um terreno e em (B), o mesmo terreno representado através da disposição dos marcadores que o representam.

- Caminháveis;
- preferencialmente não-caminháveis;
- não-caminháveis.

Inicialmente, todo o terreno contempla marcadores de livre utilização, ou seja caminháveis. Entretanto, através da utilização de marcadores não-caminháveis ou preferencialmente não-caminháveis, torna-se possível a definição de *regiões especiais* no terreno. Trata-se de regiões que podem ser delimitadas com o intuito de representar informações semânticas sobre o terreno, as quais devem ser consideradas durante os deslocamento dos agentes. Uma região não-caminhável representa espaços onde a locomoção dos agentes não é permitida, bem como as regiões preferencialmente não-caminháveis podem permitir a locomoção em situações específicas.

A fim de contemplar diferentes situações com os marcadores preferencialmente não-caminháveis, é possível considerar um nível de intensidade do marcador, o qual é considerado na definição do movimento do agente (Seção 4.3).

A Figura 4.3 ilustra uma situação em que no mesmo terreno são representadas regiões semanticamente diferentes. Em (A), apresenta-se a definição de regiões especiais no terreno e em (B), a visualização dos marcadores especiais no ambiente de simulação. Em ambos os casos, a região (1) é composta por marcadores preferencialmente não-caminháveis, enquanto a região (2) representa um espaço não-caminhável e o espaço restante é composto por marcadores caminháveis.

As definições de regiões específicas no terreno podem representar informações semânticas. Como exemplo, pode-se considerar marcadores não-caminháveis para representar

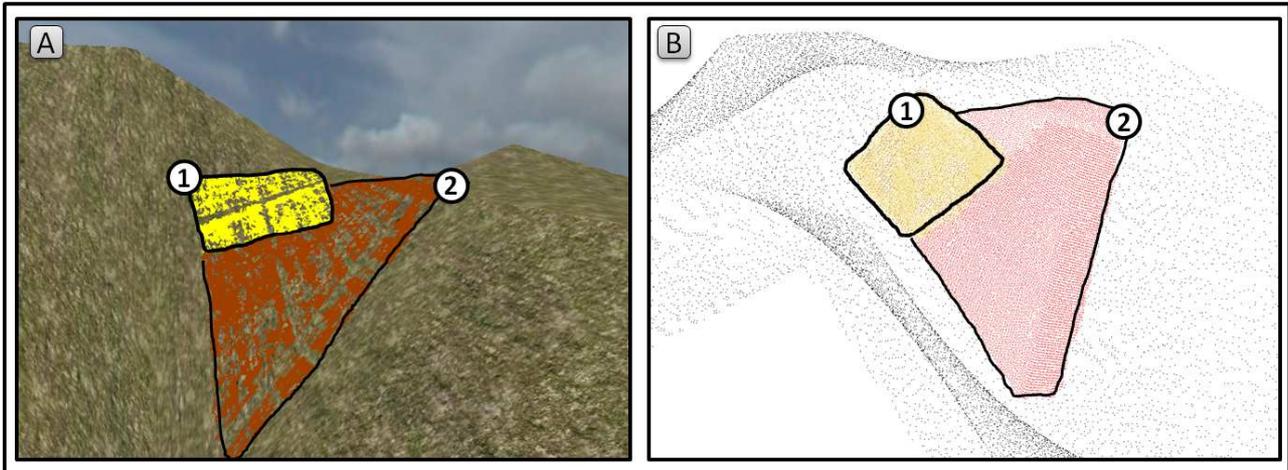


Figura 4.3: Em (A), a representação de um terreno onde são definidas regiões especiais que influenciam a locomoção e em (B), o mesmo terreno no ambiente de simulação. Em ambos os casos (1), representa um espaço preferencialmente não caminhável e (2) ilustra uma região não-caminhável.

o espaço ocupado por paredes e outros objetos. Outra situação para representar semanticamente uma região como não caminhável poderia ser um rio que deve ser desviado na locomoção dos personagens. Por sua vez, agentes podem ser capazes de, em determinadas situações, se deslocar pela margem do rio, a qual pode ser representada através de marcadores preferencialmente não-caminháveis. O intuito de espaços preferencialmente não-caminháveis é de representar regiões onde a movimentação é permitida, porém não preferencial. A próxima seção contempla o cálculo do movimento dos agentes considerando tais informações semânticas.

4.3 Definição do Movimento dos Agentes

Para gerar o deslocamento de cada agente envolvido na simulação, considera-se uma posição inicial e uma posição de destino desejada para o mesmo (informação especificada no arquivo de configuração da simulação - Figura 4.1). Além disso, para cada iteração que produz o próximo passo, responsável pelo deslocamento de cada agente i , considera-se o conjunto S , composto por N marcadores que encontram-se mais perto do agente em relação a qualquer outro agente. Este conjunto define o espaço pessoal de cada agente e é denotado por:

$$S(i) = \{\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_N\}. \quad (4.1)$$

Para cada marcador \mathbf{m}_k , são associados os seguintes atributos:

- Posição 3D do marcador no ambiente, \mathbf{m}_k (recebido da *TerrainTool*).

- Tipo, mt_k : Define o tipo de uso do marcador (caminhável, preferencialmente não-caminhável e não-caminhável).
- Peso, w_k : O peso de cada marcador segue a essência proposta no modelo original [4, 33]. É utilizado para priorizar marcadores no direcionamento de cada agente i até o objetivo (g), considerando ainda a posição do agente (p_i) no momento.
- Local, l_k : Utilizado somente na simulação de ambientes internos (Seção 4.5), identifica em que parte do ambiente o marcador está localizado.

É importante salientar, que os marcadores gerados pela *TerrainTool*, propiciam que a superfície do mesmo seja representada em 3D. Com isso fez-se necessário a adequação do modelo de simulação para considerar 3 dimensões durante a produção do movimento dos agentes.

A Equação 4.2 é utilizada para calcular o peso dos marcadores e leva em conta informações como o objetivo do agente g , sua posição p_i e a posição do marcador m_k . Igualmente ao modelo original, utiliza-se a função f , responsável por verificar a relação entre a posição do agente em relação ao seu objetivo com a posição do marcador, também em relação ao objetivo. Além disso, foi incluído na equação o último termo ft_k , em relação ao modelo original [4]. Com isso, objetiva-se o controle das regiões representadas pelos diferentes tipos de marcadores através da utilização de um fator que impacta no peso w_k dos k marcadores, influenciando a direção dos agentes, durante o deslocamento, na busca do objetivo.

$$w_k = \frac{f(g - p_i, m_k - p_i)}{\sum_{l=1}^N f(g - p_i, m_l - p_i)} ft_k, \quad (4.2)$$

O valor ft considerado como fator no cálculo do peso do marcador para o movimento do agente é determinado como:

$$ft = \begin{cases} 1, & mt \text{ caminhável} \\ 0, & mt \text{ não-caminhável} \\ \text{variável,} & mt \text{ preferencialmente não-caminhável:} \\ & \text{Valor variável entre 0 e 1.} \end{cases} \quad (4.3)$$

Quando trata-se de um marcador que representa uma região preferencialmente não-caminhável, o valor de ft varia conforme a simulação. Esta variação não é feita de forma automática, havendo a necessidade desta informação ser calibrada manualmente de acordo com o contexto da simulação que está sendo realizada.

Como já apresentado, a definição do passo do agente considera o conjunto S de marcadores que encontram-se mais próximos ao agente i do que em relação a outro agente.

Assim sendo, o vetor que indica o movimento a ser tomado pelo agente é como no modelo original [4, 33] e denotado na Equação 4.4.

$$\mathbf{d}(i) = \sum_{k=1}^N w_k (\mathbf{m}_k - \mathbf{p}_i). \quad (4.4)$$

O caminho percorrido pelos agentes é calculado dinamicamente, como já apresentado. A utilização de regiões com características semânticas, definidas no terreno, agregam informações aos marcadores, as quais são utilizadas na definição do movimento.

4.3.1 Agentes não-humanos

O modelo apresentado nesta dissertação, em sua origem, foi desenvolvido com o principal intuito de simular a movimentação de agentes humanos em um respectivo terreno. Entretanto, considerando os atributos presentes nos marcadores utilizados para prover a locomoção, identifica-se que o modelo é facilmente adaptável para simular a movimentação de agentes não-humanos, como por exemplo peixes em um lago representado através da utilização de marcadores semanticamente não-caminháveis representando uma região aquática.

Para esta nova característica, o valor de ft é utilizado para cada agente presente na simulação, a fim de que o mesmo possa diferenciar as regiões propícias à sua própria movimentação. Exemplificando, para realizar a movimentação de agentes em um ambiente aquático, considera-se ft opostamente ao apresentado na Equação 4.3, visto que os agentes envolvidos movimentam-se em ambiente aquático. Com isso, marcadores definidos como não-caminháveis, passam a ser utilizados na movimentação de agentes que não devem se movimentar em regiões caminháveis em relação a agentes humanos.

4.4 Path Planning

A utilização de algoritmos de *path planning* possibilita melhorar o processo de deslocamento dos agentes em busca do objetivo a ser atingido. Dentre os algoritmos desenvolvidos com este objetivo e apresentados no capítulo anterior, encontra-se o A* [11]. Estes algoritmos auxiliam o processo de simulação do movimento dos agentes pois permitem a geração de uma rota a ser seguida durante o deslocamento em busca do objetivo.

Neste trabalho, considera-se a abordagem apresentada por Millington [22] para a utilização do algoritmo A*. O algoritmo é executado considerando como entrada um grafo originário do terreno o qual considera a presença de regiões diferenciadas no mesmo. Assim sendo, tais regiões diferenciadas influenciam a criação e ponderação das arestas do grafo. Para isso, os componentes do grafo (nodos e arestas) devem contar com os atributos apresentados na Tabela 4.1. A existência de tais atributos possibilita que, por exemplo, as arestas

tas presentes em uma região definida por marcadores preferencialmente não-caminháveis, possuam um custo maior a ser considerado pelo algoritmo na escolha da melhor rota.

	Atributo	Descrição
Nodos	<i>id</i>	Identificador
	<i>pos</i>	Coordenadas 3D do nodo
Arestas	<i>nA, nB</i>	Nodos ligados pela aresta
	<i>aC</i>	Custo da aresta

Tabela 4.1: Atributos dos componentes do grafo, nodos e arestas, que são considerados pelo algoritmo de planejamento de caminho.

Para a definição do grafo, ilustrado na Figura 4.4, inicialmente é produzida uma *grid* de nodos através de *ray casting* no terreno. O objetivo é posicionar os nodos sobre a superfície do terreno, nodos os quais serão considerados no processo de path planning.

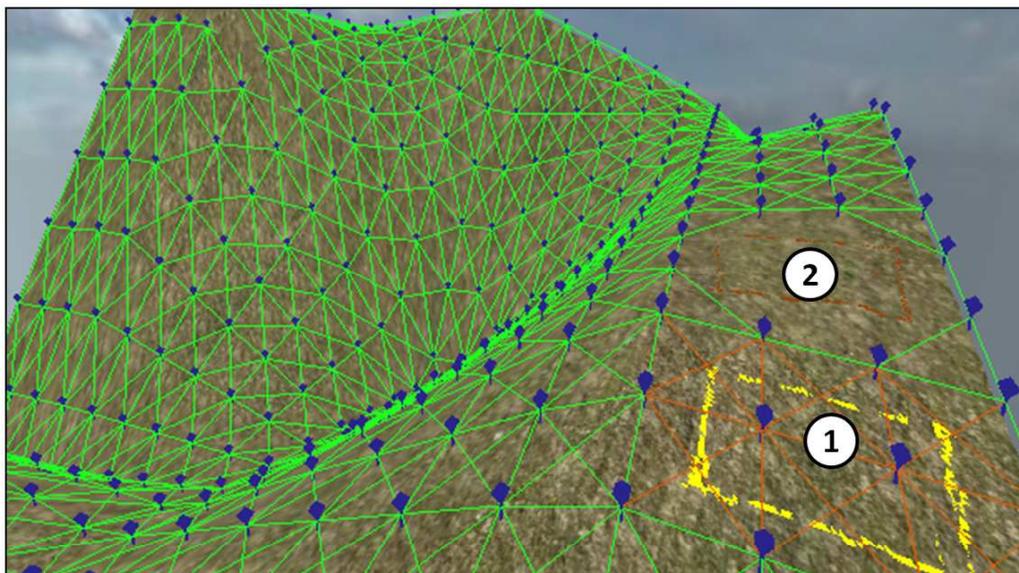


Figura 4.4: Grafo utilizado como entrada para a execução do Algoritmo A*. Representação dos nodos e arestas utilizados pelo algoritmo de planejamento de caminho. O grafo foi produzido considerando a presença de regiões preferencialmente não-caminháveis (1) e também não-caminháveis (2), onde por sua vez, não ocorre a criação de nodos e arestas.

Uma peculiaridade considera que quando um raio interseccionar uma região do terreno povoada por marcadores não caminháveis, o nodo não é criado. Posteriormente, parte-se para a definição das arestas que ligarão respectivos nodos, considerando os seguintes pontos:

- Quando, ao conectar dois nodos, uma aresta interceptar uma região povoada por marcadores não-caminháveis, ela não é criada. Isto é feito considerando que este tipo de região não pode deve ser considerada pelos agentes em sua trajetória.

- Em regiões de marcadores caminháveis, as arestas são criadas, ligando os nodos normalmente. Além disso, a distância entre os nodos ligados pela aresta é utilizada o *custo da aresta*, considerado na execução do algoritmo de planejamento de caminho.
- Em regiões preferencialmente não-caminháveis, as arestas são criadas normalmente, porém existe um diferencial na definição do custo da aresta. Além da distância entre os nodos, também considera-se o nível de intensidade dos marcadores que povoam a região, conforme previamente descrito. Assim sendo, arestas que foram criadas em regiões preferencialmente não-caminháveis com baixo nível de intensidade, serão menos custosas e logo, oferecerão maior prioridade de utilização.

O processo de criação das arestas do grafo está ilustrado na Figura 4.5. Considera-se um ambiente povoado por marcadores e deseja-se ligar o Ponto A com o Ponto B, o Ponto A com o Ponto C e por fim, o Ponto C com o Ponto D. Considerando a presença de regiões diferenciais no terreno, o processo funciona da seguinte maneira: A aresta entre A e B é criada normalmente, por utilizar uma região povoada por somente marcadores caminháveis. Entretanto, a aresta entre A e C, apesar de criada a aresta receberá tratamento diferenciado em sua ponderação. Por fim, a aresta entre C e D não é criada devido ao fato de que, para unir os respectivos nodos, seria necessária a utilização de uma região povoada com marcadores não-caminháveis.

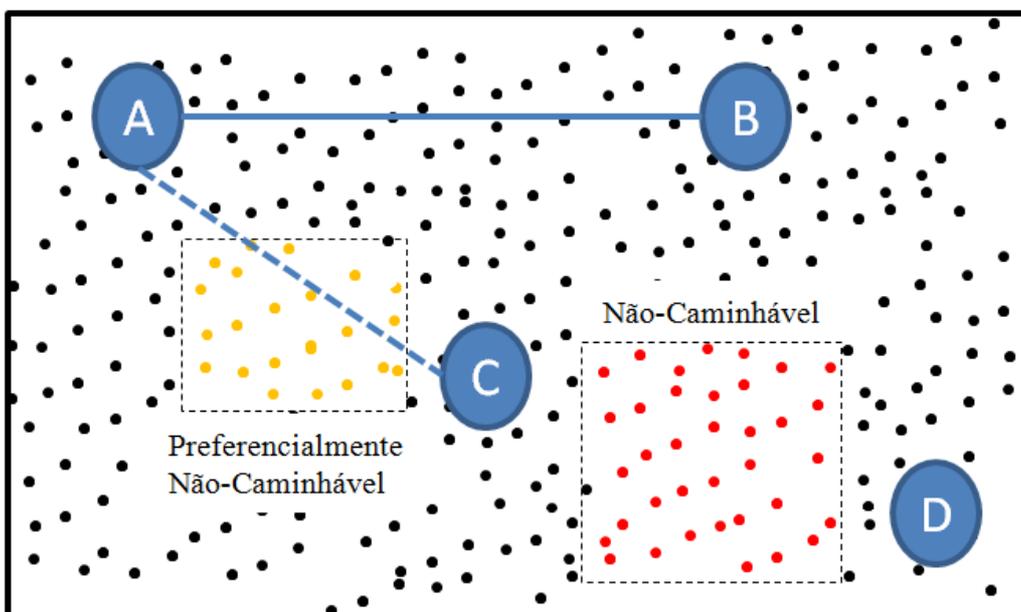


Figura 4.5: Processo de criação das arestas do grafo considerando a existência de regiões diferenciadas no ambiente.

Considerando os nodos do grafo, e a ponderação das arestas, o algoritmo retorna como resultado a lista de nodos que compõem o caminho a ser seguido por cada agente i considerando um nodo origem e um nodo destino no grafo. Por sua vez, após definido o caminho

a ser seguido pelos agentes, o processo de deslocamento dos agentes pelo terreno é realizado considerando os marcadores, como descrito anteriormente. Entretanto, cada nodo componente do caminho do gerado passa a ser considerado como um sub-objetivo a ser alcançado pelo agente em busca do objetivo de destino final.

4.5 Movimentação de Agentes em Ambientes Internos

Considerando a possibilidade de identificar a região em que determinado marcador se encontra e integrando-a ao conceito de *path planning*, apresentado na seção anterior, é possível a utilização do modelo para a simulação do movimento de agentes em ambientes internos. Nesse trabalho, utilizamos o modelo para gerar ambientes procedurais proposto por Marson e Musse [20].

Os ambientes residenciais, gerados por Marson e Musse, são representados através de um grafo de conectividade ligando as peças que compõem a casa. Ilustrado na Figura 4.6 (A), o grafo tem os ambientes representados por nodos e as portas por arestas. Para a execução do *path planning*, conforme propõe-se neste trabalho, o grafo é ajustado para que as portas sejam consideradas como nodos, igualmente aos cômodos, conforme ilustrado na Figura 4.6 (B). Para a movimentação do agente, é considerada uma série de ações pré-definidas que, por sua vez, são realizadas em determinado ambiente da casa. Atualmente, são consideradas as ações e locais representados na Tabela 4.2.

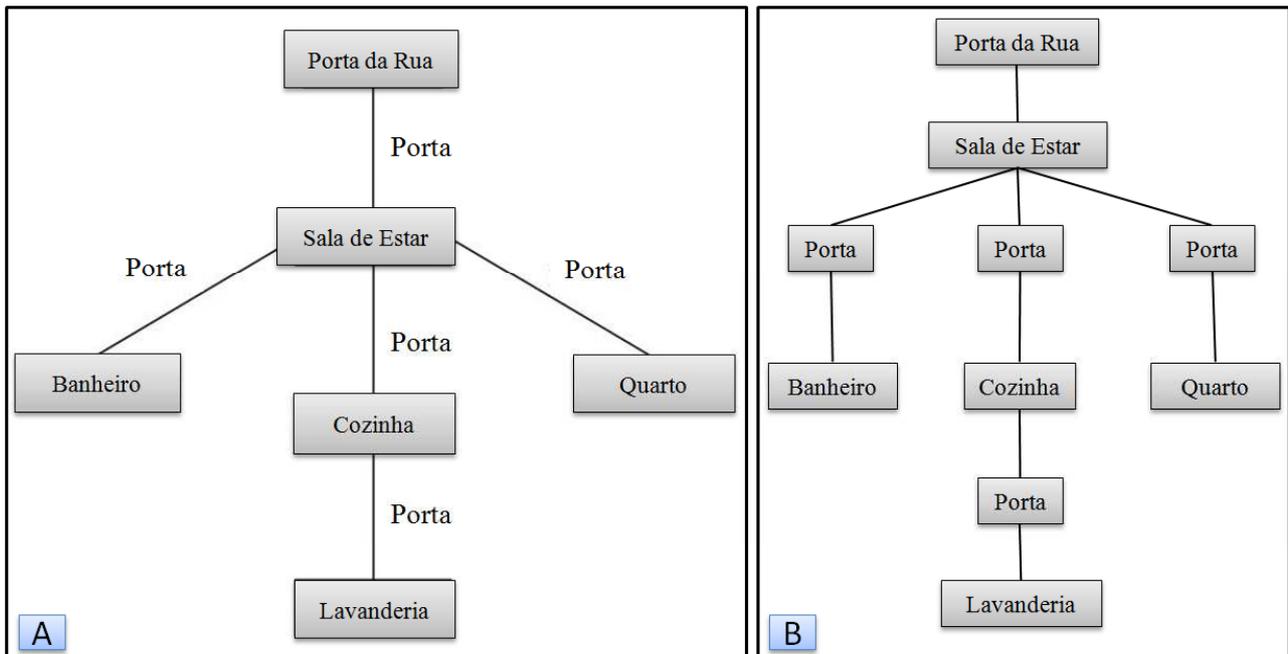


Figura 4.6: Em (A), representa-se o Grafo de conectividade considerado por Marson e Musse [20] para representação de um ambiente residencial com respectivas características e, em (B), ilustra-se o mesmo grafo após adequações para ser utilizado na produção de *pathplanning* para a simulação de agentes virtuais na residência.

Cômodos	Ação
Sala de Estar	Ler, jogar, assistir TV, relaxar
Quarto	Dormir
Banheiro	Tomar banho, lavar as mãos, usar a privada
Cozinha	Comer, beber, lavar a louça
Lavanderia	Lavar as roupas

Tabela 4.2: Ações e locais de realização definidos para serem considerados na simulação de agentes em ambientes residenciais.

De posse de uma ação que deve ser realizada, o algoritmo de planejamento de caminho é executado para gerar o caminho partindo da posição do agente (que também é considerada como um nodo - origem) até a porta do cômodo onde a ação deve ser realizada (nodo destino). Com isso, tem-se a lista de sub-objetivos a serem contemplados na movimentação do agente. Todavia, considerando a porta do ambiente como o ultimo ponto do caminho gerado, define-se uma posição dentro do cômodo para que o agente se desloque até ela e execute a ação. Esta definição é possível visto que neste momento, os marcadores possuem associados a si a semântica do espaço em que estão alocados, através do atributo local (l_k) que agora passa a definir a peça que o marcador está representando. Atualmente, a movimentação do agente é feita considerando somente o local em que marcador se encontra, porém, destaca-se que ao considerar ambientes mobiliados, os marcadores também podem levar em conta esta informação e utiliza-la na definição do movimento do agente, para definir obstáculos ou objetos com quais os agentes devam interagir, em busca de resultados coerentes.

Ao chegar no local determinado para a execução da ação, o agente aguarda determinado intervalo de tempo, pré-definido juntamente com o local das ações, a fim de simular que a atividade está sendo realizada no local determinado. Ao finalizar a ação, escolhe-se randomicamente, uma nova ação a ser realizada e o agente se desloca até o respectivo local, conforme processo descrito anteriormente. Atualmente, não são consideradas informações do agente para a definição da ação e para a produção do movimento. Considerando as funcionalidades propiciadas pelo modelo proposto, no próximo capítulo, apresetam-se os resultados obtidos, onde através da realização de simulações em terrenos, como também em ambientes internos, busca-se a verificação do modelo aqui proposto.

5. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

O modelo para simulação de agentes, considerando o conceito de raciocínio de terrenos, permite a simulação de situações em conceitos diferenciados. As próximas seções apresentam informações a respeito do protótipo desenvolvido. Do mesmo modo, apresentam também resultados visuais das simulações produzidas.

5.1 Protótipo

Para a análise e validação do modelo proposto, foi implementado um protótipo a fim de verificar visualmente as simulações capazes de ser produzidas. O protótipo foi desenvolvido em C/C++ e utiliza-se da API Gráfica OpenGL [46] juntamente com a engine Irrlicht¹ (utilizada na produção do terreno).

5.1.1 *TerrainTool*

Considerando o processo integrado ilustrado na Figura 4.1, para a geração dos terrenos, foi desenvolvida pelo grupo de pesquisa, uma ferramenta denominada *TerrainTool*. A ferramenta contempla as cinco principais fases executadas no modulo de geração do terreno:

1. Geração de *height maps* utilizados para a construção de terrenos,
2. produção da geometria do terreno,
3. definição de regiões semânticas no terreno,
4. geração do **grafo** de entrada para o algoritmo de planejamento de caminho e
5. criação dos **marcadores** considerando a existência de regiões semânticas.

Na figura 5.1 apresentam-se resultados produzidos pela *TerrainTool*, compreendendo o terreno gerado (A), definição de regiões diferenciadas (B) e geração do grafo considerando tais regiões (C).

Dentre as fases do processo, ressalta-se que os itens 4 e 5 originam informações consideradas pelo modelo de simulação do movimento dos agentes no terreno. Através da utilização da ferramenta, é possível a definição de regiões diferenciadas no terreno, através do conceito de marcadores não-caminháveis e preferencialmente não-caminháveis. Assim, torna-se possível a adição de semântica às situações e contextos a serem simulados. Na próxima seção, são apresentadas algumas situações simuladas com o protótipo.

¹<http://irrlicht.sourceforge.net>.

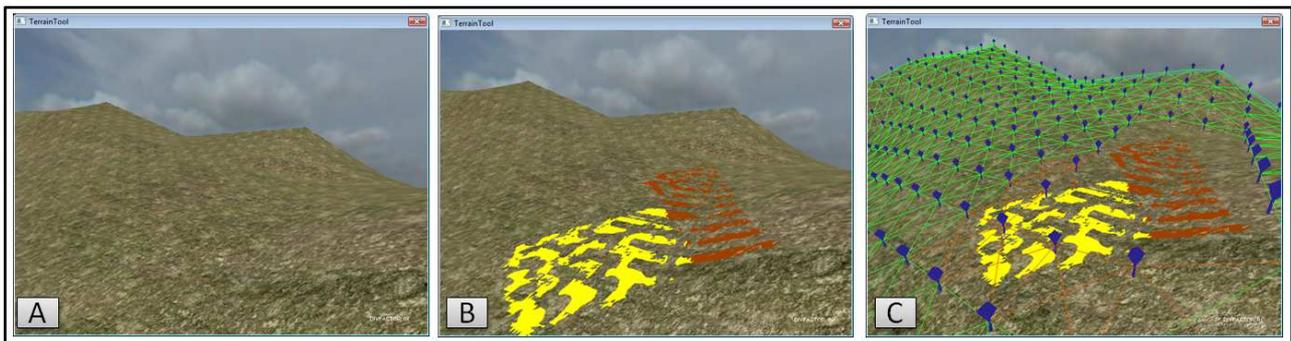


Figura 5.1: *TerrainTool*: Ferramenta desenvolvida para o processo de geração do terreno (A), definição de regiões não-caminháveis e preferencialmente não-caminháveis (B) e geração do grafo considerando a existência de regiões diferenciadas (C).

5.1.2 Simulador e Visualizador

De posse das informações produzidas pelo terreno, o protótipo encontra-se habilitado a realizar simulações. Tendo como entrada as informações referentes aos marcadores juntamente com o grafo utilizado para o algoritmo de planejamento de caminho, pode-se definir situações a serem simuladas, considerando o modelo apresentado no Capítulo 4. Para a execução das simulações, inicialmente define-se as informações do arquivo de configuração (Figura 4.1) onde especifica-se:

- Quantidade de grupos a serem simulados.
- Numero de agentes de cada grupo.
- Ponto de Origem e Destino para deslocamento (nodos do grafo).
- Utilização de A* para a trajetória (ao não utilizar o algoritmo de planejamento de caminho, os agentes movimentam-se livremente pelo terreno, sem sub-objetivos pré-definidos, em direção ao objetivo principal).

Como resultado, a simulação pode prover dados para que possa ser produzida uma visualização do movimento no terreno com a utilização de humanos virtuais. Tais dados representam as coordenadas de localização de cada agente no terreno em relação ao tempo. A Figura 5.2 apresenta um exemplo da visualização com a utilização de humanóides. Na próxima seção, apresentam-se resultados de simulações realizadas através da utilização deste protótipo.



Figura 5.2: Visualização da simulação com a utilização de humanoides.

5.2 Simulações Realizadas

Esta seção apresenta alguns resultados obtidos através da realização de simulações em diferentes situações. Inicialmente, apresenta-se a simulação do deslocamento de agentes pelo terreno, considerando a existência de regiões diferenciadas a fim de representar o conceito adotado para raciocínio de terrenos. Após, são elencados resultados obtidos através da simulação de agentes em um ambiente interno.

5.2.1 Simulação do Movimento de Agentes no Terreno

Considerando a presença de marcadores especiais, os agentes se deslocam no ambiente através de diferentes trajetórias geradas pela função descrita na Seção 4.3, emergindo a característica de raciocínio de terrenos. Um dos primeiros pontos desenvolvidos, para prover as simulações nos marcadores originários do terreno foi a adequação do modelo, originalmente desenvolvido em 2D, para considerar 3D, conforme apresentado no Capítulo 4. Os resultados apresentados a seguir, mostram que os agentes são capazes de se deslocar corretamente considerando a superfície em 3D. Um ponto a ressaltar, é que isto é possível devido a se tratar de superfícies suaves e terrenos pouco acidentados. Isso porque, observou-se que em terrenos muito acidentados, ou superfícies muito íngremes, o agente pode se deslocar sem acompanhar corretamente a superfície considerando a definição dos vetores de deslocamento.

A Figura 5.3 exemplifica duas situações onde, um grupo formado por 50 agentes deseja se deslocar através do terreno considerando a presença de marcadores especiais. Nas imagens A e B, é possível observar que os agentes não utilizam regiões definidas por marcadores não-caminháveis (1). Esta característica se mantém também nas imagens C e D, nas quais também foram acrescentados marcadores preferencialmente não caminháveis (2), os quais são utilizadas apenas em momentos em que marcadores caminháveis não

encontram-se disponíveis para utilização.

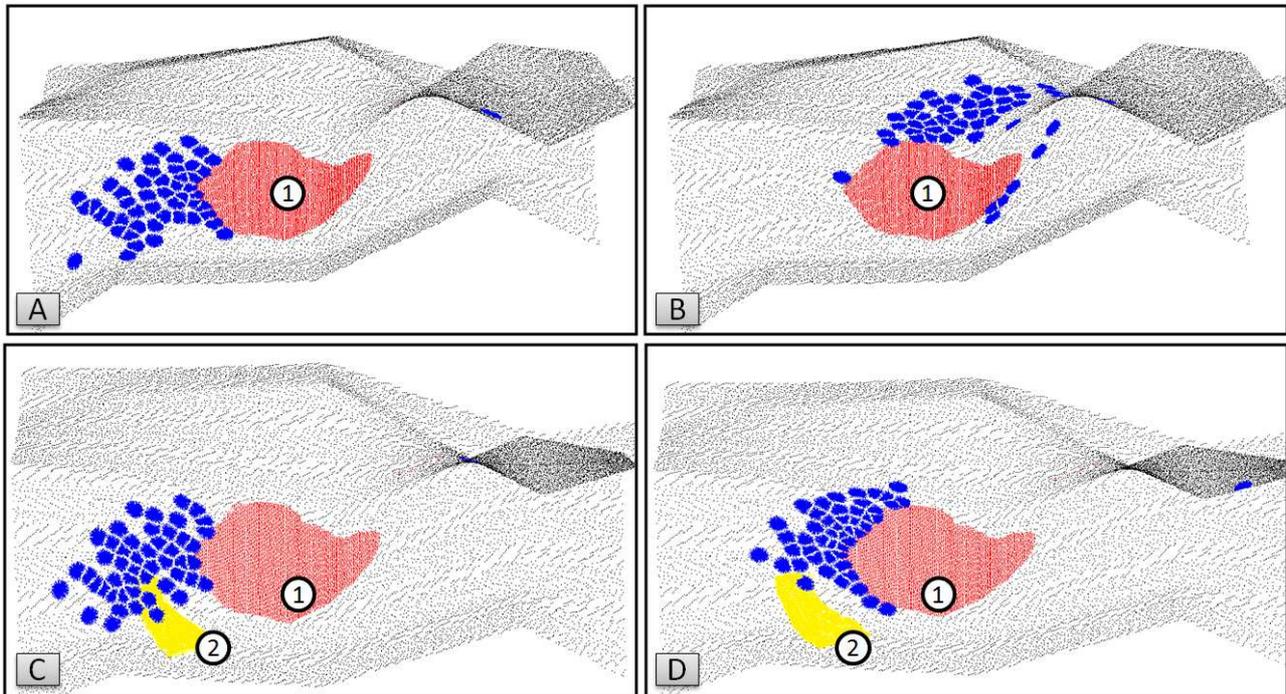


Figura 5.3: Duas simulações apresentando a evolução da trajetória de um grupo formado por 50 agentes, considerando a existência de marcadores especiais no terreno. na primeira simulação (A e B), os agentes se deslocam considerando a existência de marcadores não-caminháveis (1). No segundo caso (C e D), os agentes também reagem à existência de marcadores preferencialmente não-caminháveis (2) os quais são considerados quando não existe a possibilidade de o agente navegar por marcadores caminháveis.

Neste ponto, é possível observar a validação da hipótese apresentada na contextualização do trabalho no estado-da-arte (Seção 3.4), na qual considera-se que **marcadores diferenciados, incorporados ao modelo para simulação de multidões, podem ser utilizados na descrição de características do terreno**. Isto porque, ao analisar os resultados obtidos, observa-se que os agentes reagem corretamente, considerando a presença de marcadores especiais no terreno.

Considerando o deslocamento dos agentes em direção ao objetivo, no modelo original, não é possível estimar exatamente por qual direção os agentes se deslocarão. Esta característica tornou-se possível com a integração do Algoritmo A* ao modelo (Seção 4.4). Assim, para a definição do caminho a ser tomado pelos agentes, utiliza-se um grafo produzido considerando as características do terreno. A Figura 5.4, ilustra o grafo gerado no terreno, considerando as características do mesmo e como ele é visualizado no ambiente de simulação. Para facilitar a visualização, na imagem apresentando o ambiente de visualização (Figura 5.4 (B)), foram ocultados os marcadores presentes no espaço, bem como os nodos do grafo, que localizam-se nos cruzamentos entre as arestas.

A utilização de trajetórias obtidas com a aplicação do A* é ilustrada na Figura 5.5. Em

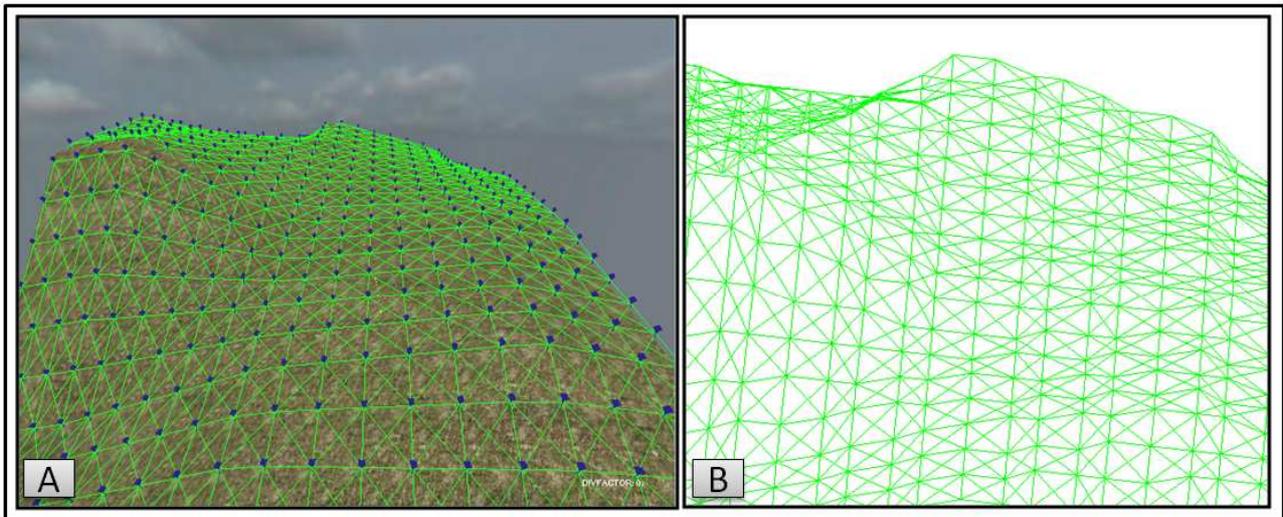


Figura 5.4: Grafo gerado considerando as características do terreno (A) e visualizado no ambiente de simulação (B). Para melhor visualização do grafo, no ambiente de simulação, foram ocultados os marcadores e os nodos do grafo, que localizam-se no cruzamento entre as arestas.

A, apresentam-se quatro grupos e quatro caminhos distintos a serem usados nas trajetórias de quatro grupos de agentes. Em B, C e D, são apresentados diferentes momentos durante a evolução da simulação. Para cada grupo, composto por 10 agentes, definiu-se um ponto de origem e um ponto de destino para o deslocamento, sendo da seguinte forma:

- Grupo 1: Ponto 1 ao Ponto 4.
- Grupo 2: Ponto 2 ao Ponto 3.
- Grupo 3: Ponto 3 ao Ponto 2.
- Grupo 4: Ponto 4 ao Ponto 1.

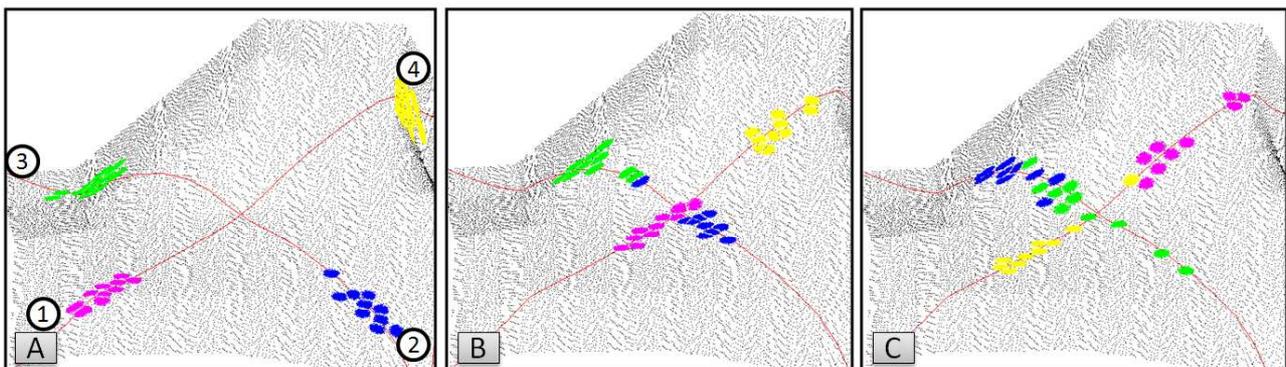


Figura 5.5: Trajetórias geradas pelo A* considerando quatro grupos diferentes, cada grupo composto por 10 agentes.

Outra funcionalidade proporcionada pela utilização do A^* , é a possibilidade de serem produzidos caminhos mais suaves para a trajetória do agente. Para isso, através do conceito de arestas ponderadas, o comprimento da aresta é utilizado como custo no momento em que o caminho é determinado. Um exemplo desta situação é ilustrado na Figura 5.6. Dada a existência de uma montanha no terreno, o agente deseja se deslocar do ponto 1 ao ponto 2 (Figura 5.6 (A)). Considerando o caminho gerado com a utilização do algoritmo A^* , o agente se locomove pelo terreno até o seu objetivo (Figura 5.6 (B)). O contraste é evidenciado ao realizar a mesma simulação sem a utilização do A^* . Na Figura 5.6 (C), é possível observar que o agente se desloca considerando somente a existência do objetivo, e sua trajetória (representada em linha tracejada) é diferente da trajetória proposta com a utilização do algoritmo de planejamento de caminho (linha contínua) utilizando-se de arestas ponderadas.

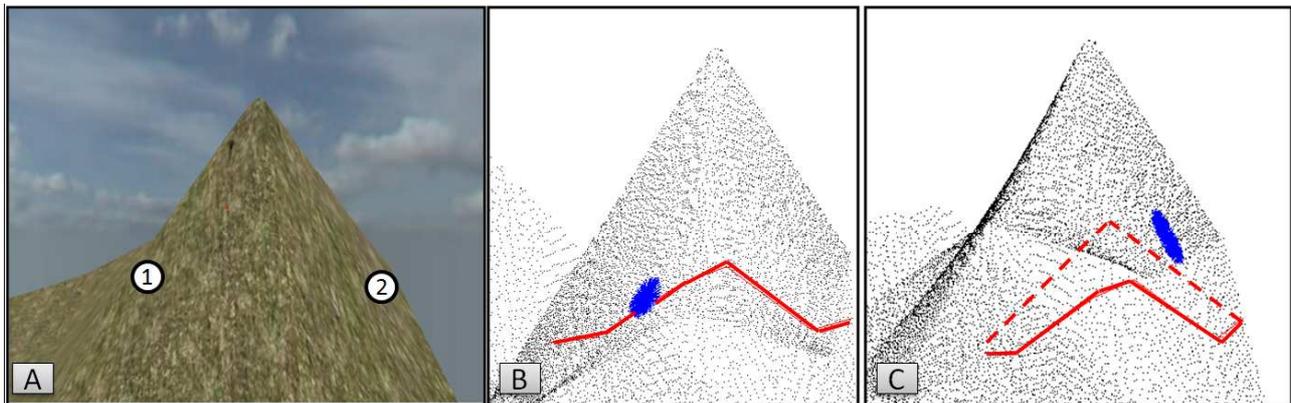


Figura 5.6: Exemplo de situação onde o agente deseja se deslocar do ponto 1 ao ponto 2, em uma montanha (A). Com a utilização do algoritmo A^* , o agente se desloca em direção ao objetivo (B), diferentemente de como faria sem a existência do algoritmo de planejamento de caminho (C). Em C, também é possível observar o contraste nas trajetórias: a linha contínua representa o trajeto proposto pelo A^* e a linha tracejada considera o caminho seguido por um agente que não utilizou tal algoritmo na sua trajetória.

Além disso, o modelo contempla a integração de marcadores com a geração do grafo. A Figura 5.7 apresenta o caminho gerado e seguido por um grupo de agentes que se desloca do ponto 1 ao ponto 2. Considerando o grafo gerado juntamente com a existência de marcadores não-caminháveis no terreno, o algoritmo retorna um caminho que evita a utilização da região não caminhável, fazendo com que o agente não tenha contato com o respectivo tipo de marcador (não-caminhável).

5.2.2 Simulação de Movimento de Agentes em Ambiente Interno

As funcionalidades propiciadas pelo modelo proposto no presente trabalho tornaram possível a aplicação do mesmo para simulação do movimento de agentes em ambientes in-

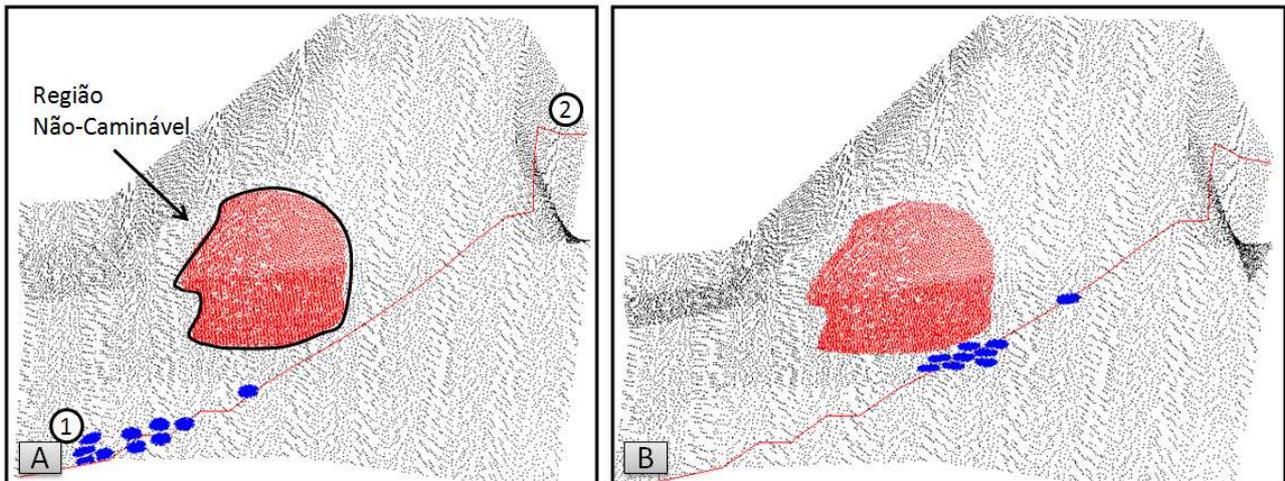


Figura 5.7: Duas imagens que ilustram a situação onde um grupo de agentes deseja se deslocar do ponto 1 ao ponto 2, considerando o caminho gerado pelo A* juntamente com a existência de uma região não-caminável.

ternos. Com isso, é possível planejar o caminho e efetuar a locomoção de ambientes dentro de um ambiente residencial, no caso da aplicação aqui descrita faz-se uso dos ambientes gerados por Marson e Musse [20].

Com as coordenadas da casa a ser povoada, é possível carregá-la no ambiente de simulação e povoá-la com marcadores conforme o modelo original do *BioCrowds* [4]. A Figura 5.8 apresenta a casa gerada por Marson e Musse [20] (B), juntamente com o grafo de conectividade utilizado em sua construção (A). Em C, é apresentada a visualização da mesma no ambiente de simulação.

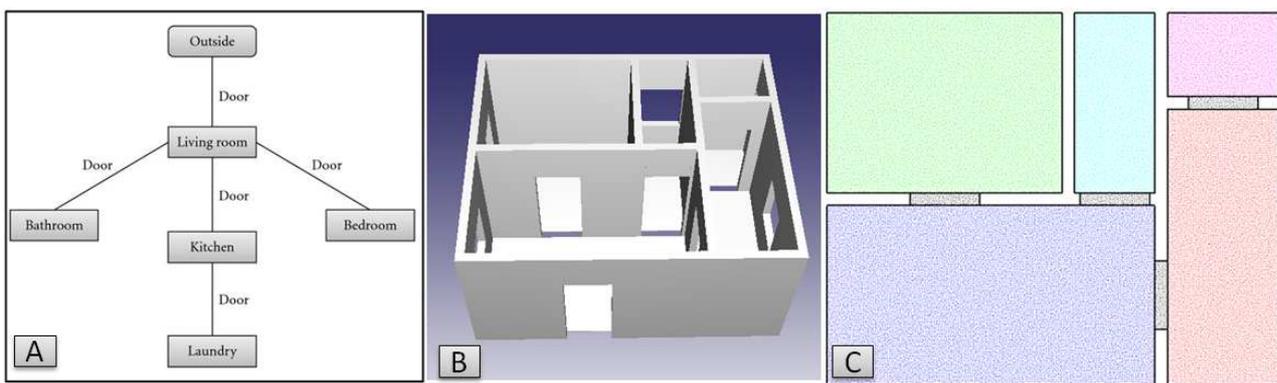


Figura 5.8: Em A, o grafo de conectividade e em B a casa utilizada para simulação de ambientes internos[20]. Em C, apresenta-se a sua visualização no ambiente de simulação.

Considerando as informações do grafo de conectividade, é possível adequar as informações para definir o grafo a ser utilizado pelo algoritmo A* para definir o caminho a ser seguido pelas agentes (Seção 4.5). Atualmente, os agentes executam diferentes ações nos ambientes da casa. Graças ao *path planning*, após definida a ação a ser executada, o

agente se desloca até o local desejado. Após transcorrido o tempo de execução da ação, uma nova ação é definida e o agente se desloca até o local de execução da nova ação. Este ciclo é ilustrado na Figura 5.9: Em A, apresenta-se o grafo ligando os cômodos da casa e em B a locomoção dos agentes neste local. Em C e D, apresentam-se agentes que se deslocam pela casa para realizar ações. A cor dos agentes está relacionada ao local que o agente deve realizar a ação.

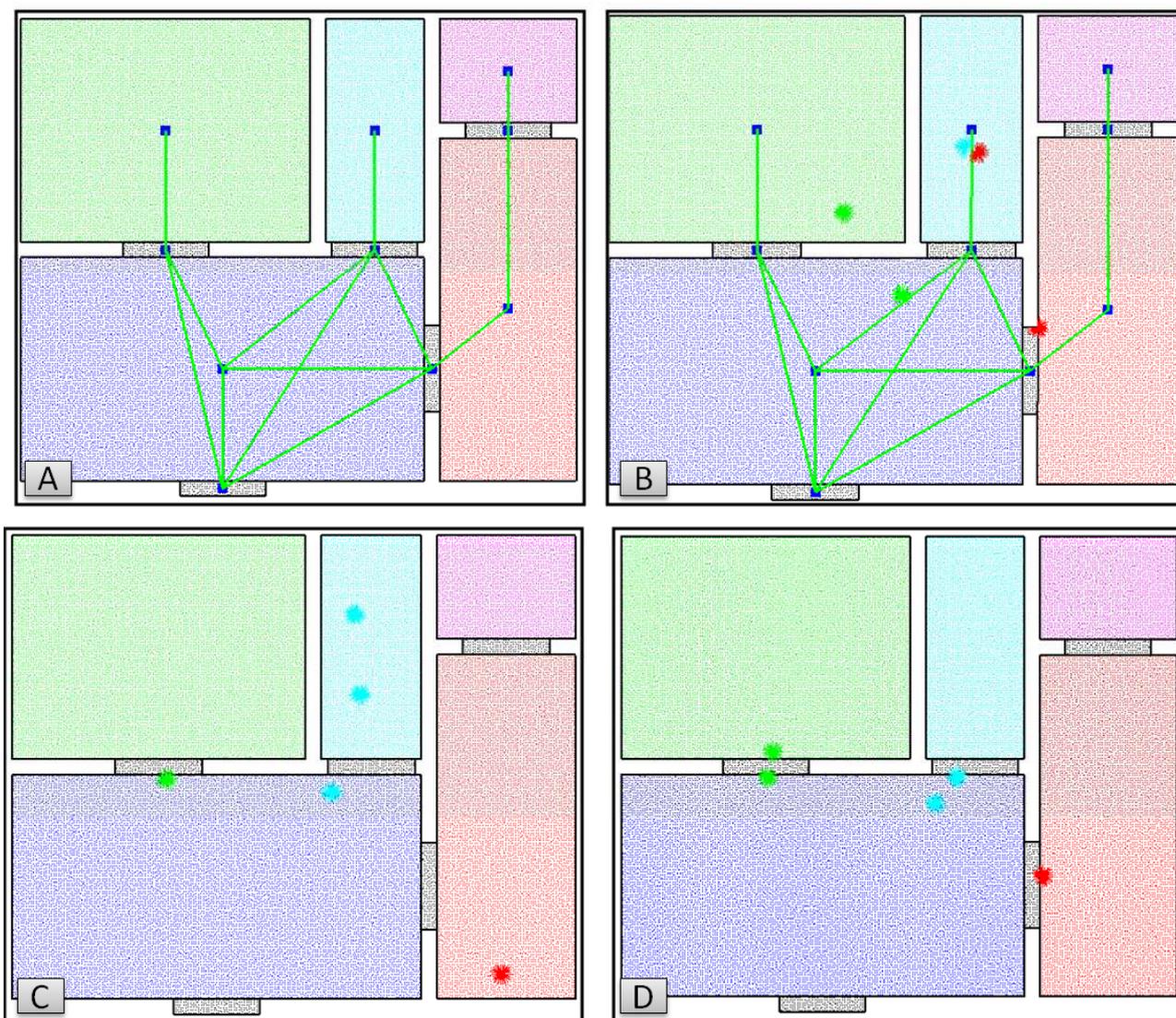


Figura 5.9: Em A, apresenta-se o grafo ligando os cômodos da casa e em B a locomoção dos agentes em relação ao grafo. Em C e D, apresentam-se agentes que se deslocam pela casa para realizar ações.

As simulações apresentadas neste capítulo trazem apenas alguns exemplos das situações atendidas pelo modelo. Observa-se que diferentes situações podem ser atendidas através da definição de regiões especiais que são consideradas durante a simulação, juntamente com a utilização de *path planing*, tanto na locomoção dos agentes através de um terreno, bem como ambientes *indoor*. Na próxima seção são apresentadas considerações sobre o modelo proposto neste trabalho juntamente com seus resultados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contempla um modelo que permite a simulação do movimento de agentes virtuais através de uma superfície 3D, utilizando-se do conceito de raciocínio de terrenos. Inicialmente, apresenta-se o conceito considerado para raciocínio de terrenos, bem como sua aplicabilidade.

Tem-se como foco principal, a adequação do modelo *BioCrowds* para que o mesmo considere o conceito adotado para raciocínio de terrenos. O modelo original efetua a representação do espaço através da utilização de marcadores. Os marcadores também são usados para definir regiões diferenciadas no terreno, como por exemplo, regiões não-caminháveis e preferencialmente não-caminháveis. Para isto, tem-se como principal contribuição do trabalho, a adoção de marcadores heterogêneos a fim de que representem uma camada semântica para ser considerada durante a simulação, a fim de que os agentes reajam corretamente à ela, e executem um movimento coerente durante a simulação.

O movimento dos agentes durante a simulação, é automaticamente definido conforme apresentado anteriormente. Junto a isso, a utilização de marcadores heterogêneos para representar regiões especiais no espaço, e sua influência na locomoção dos agentes, faz com que o raciocínio de terrenos surja como uma característica emergente no modelo.

Resultados visuais comprovam a viabilidade do modelo, onde observa-se que os agentes reagem corretamente ao conceito de raciocínio de terrenos observado neste trabalho. Com isso, comprova-se a hipótese apresentada na contextualização do trabalho dentro do estado-da-arte, onde considerava-se que **marcadores diferenciados, incorporados ao modelo para simulação de multidões, podem ser utilizados na descrição de características do terreno.**

Além disso, a possibilidade de utilização de um algoritmo de *path planning* agrega funcionalidades ao modelo. O algoritmo de planejamento de caminho possibilita a definição, com maior exatidão, de determinados pontos por onde os agentes passarão durante o deslocamento. Além disso, para a definição de tais pontos, considera-se pontos que propiciem uma trajetória mais suave e confortável aos agentes durante sua locomoção.

Além de sua utilização para navegação no terreno, resultados validam a aplicabilidade do modelo para simulação de ambientes internos, como por exemplo residenciais. Nesse caso, agentes podem facilmente se deslocar de um ponto a outro do ambiente. Além disso, o modelo é capaz de prover informações suficientes para visualização do movimento com a utilização de humanóides 3D.

Assim sendo, tem-se como principal contribuição deste trabalho, um modelo para movimentação de agentes, grupos de agentes e multidões em ambientes *indoor* e *outdoor*

sem considerar o raciocínio como implícito exclusivamente no agente ou no ambiente. Por sua vez, o raciocínio neste trabalho, se faz através de comportamentos de movimento dos agentes integrados a características do ambiente. Tais características representam semanticamente o espaço e o modelo possibilita que o agente reaja corretamente a elas, interpretando o ambiente de forma coerente, sem a necessidade de complexos algoritmos de IA para fazer o agente inteligente. Com isso, agentes teoricamente simples e sem inteligência se comportam coerentemente graças a integração do modelo para simulação com características do espaço, provendo o raciocínio do terreno.

Ao analisar visualmente os resultados obtidos, e considerando a situação atual da pesquisa, pode-se observar algumas possibilidades de trabalhos futuros que virão a agregar funcionalidades e viabilizar novas funcionalidades ao modelo. Dentre as possibilidades de trabalhos futuros, destaca-se:

- Simulação de comportamentos de grupos envolvendo características e atributos dos agentes: atualmente os agentes se movimentam sem nenhum relacionamento com outros agentes presentes na simulação.
- Considerar outros agentes na definição do *path planning*: No estado atual, o modelo define o melhor caminho para o agente considerando características do espaço, as quais são representadas através da utilização de marcadores diferenciados. A possibilidade de trabalho futuro aqui elencada, seria a possibilidade de contar também com a presença de outros agentes. Este é um ponto interessante a considerar, visto que um determinado agente A, recebe um caminho a seguir, e durante o movimento, outro agente B, pode estar obstruindo o caminho pois está executando uma ação no local, o que tornaria interessante que o agente A, tomasse um caminho diferente e não apenas desviasse o agente B.

De forma geral, ao analisar os resultados obtidos, bem como resultados já publicados (Apêndice A), juntamente com possibilidades de trabalho futuro, verifica-se que o modelo é promissor e possui diferentes aplicabilidades. Apesar de não ter sido aplicado diretamente em jogos, ou aplicações de entretenimento ou segurança, a análise visual dos resultados, ainda que de maneira informal, mostrou a viabilidade do modelo para estas aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARROS, L., DA SILVA, A., AND MUSSE, S. Petrosim: An architecture to manage virtual crowds in panic situations. In *CASA '04: Proceedings of the 17th International Conference on Computer Animation and Social Agents* (Genebra, 2004), ACM Press, pp. 111–1120.
- [2] BOUVIER, E., COHEN, E., AND NAJMAN, L. From crowd simulations to airbag deployment: Particle system, a new paradigm of simulation. *Journal of electronic Imaging* 6, 1 (1997), 94–107.
- [3] BRAUN, A., MUSSE, S. R., OLIVEIRA, L. P. L. D., AND BODMANN, B. E. J. Modeling individual behaviors in crowd simulation. In *CASA '03: Proceedings of the 16th International Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA 2003)* (Washington, DC, USA, 2003), IEEE Computer Society, p. 143.
- [4] DE LIMA BICHO, A. *Da modelagem de plantas à dinâmica de multidões: um modelo de animação comportamental bio-inspirado*. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2009.
- [5] DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1, 1 (December 1959), 269–271.
- [6] EDNEY, J. J., AND GRUNDMANN, M. J. Friendship, group size and boundary size: Small group spaces. *Small Group Research* (1979), 124–135.
- [7] FREUD, S. *Psicologia das massas e análise do eu (1921)*. Em *Edição Standard das Obras Psicológicas Completas de Sigmund Freud*. Imago, Rio de Janeiro, 1980.
- [8] FRUIN, J. *Pedestrian Planning and Design*. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [9] GERAERTS, R., AND OVERMARS, M. H. The corridor map method: a general framework for real-time high-quality path planning: Research articles. *Comput. Animat. Virtual Worlds* 18, 2 (2007), 107–119.
- [10] HALL, E. T. *The hidden dimension / Edward T. Hall*, [1st ed.] ed. Doubleday, Garden City, N.Y. :, 1966.
- [11] HART, P. E., NILSSON, N. J., AND RAPHAEL, B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *SIGART Bull.*, 37 (1972), 28–29.

- [12] HELBING, D., BUSZNA, L., AND WERNER, T. Self-organized pedestrian crowd dynamics and design solutions. Dec 2003.
- [13] HELBING, D., FARKAS, I., AND VICSEK, T. Simulating dynamical features of escape panic, Sep 2000.
- [14] HELBING, D., AND MOLNAR, P. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E* 51 (1995), 4282.
- [15] HELBING, D., AND MOLNAR, P. Self-Organization Phenomena in Pedestrian Crowds. *ArXiv Condensed Matter e-prints* (June 1998).
- [16] KARAMOUZAS, I., GERAERTS, R., AND OVERMARS, M. Indicative routes for path planning and crowd simulation. In *FDG '09: Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Digital Games* (New York, NY, USA, 2009), ACM, pp. 113–120.
- [17] KO, H., REICH, B. D., BECKET, W., AND BADLER, N. I. Terrain navigation skills and reasoning. In *In Proceedings of the Fourth Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation* (1994), pp. 219–227.
- [18] LATOMBE, J.-C. *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1991.
- [19] LEBON, G. *Psychologie des Foules*. Alcan, Paris, 1895.
- [20] MARSON, F., AND MUSSE, S. Automatic real-time generation of floor plans based on squarified treemaps algorithm. *International Journal of Computer Games Technology* (2010).
- [21] MC DOUGALL, W. *The Group Mind (1920)*. Lightning Source, La Vergne, US, 2009.
- [22] MILLINGTON, I. *Artificial Intelligence for Games (The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology)*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2006.
- [23] MOORE, M. B., GEIB, C., AND REICH, B. D. Planning and terrain reasoning. In *Working Notes- 1995 AAAI Spring Symposium on Integrated Planning Applications* (1995).
- [24] MORINI, F., YERSIN, B., MAYM, J., AND THALMANN, D. Real-time scalable motion planning for crowds. In *CW '07: Proceedings of the 2007 International Conference on Cyberworlds* (Washington, DC, USA, 2007), IEEE Computer Society, pp. 144–151.
- [25] MUSSE, S. R. *Human Crowd Modelling with Various Levels of Behaviour Control*. PhD thesis, EPFL, Lausanne, Switzerland, 2000.

-
- [26] MUSSE, S. R., DA SILVA, A., TONIETTO, L., HARDT, K., BARROS, L., ROTH, B. M., ROLIM, T. A., FELIPE, L., AND MELO, R. Petrosim: Um sistema para simulação de multidões em situações de emergência. *Petro & Química*, 168 (Jan 2005), 60–65.
- [27] MUSSE, S. R., AND THALMANN, D. Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 7, 2 (2001), 152–164.
- [28] O’ROURKE, J. *Computational Geometry in C (Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science)*. Cambridge University Press, October 1998.
- [29] OSORIO, L. C. *Psicologia Grupal: Uma nova disciplina para o advento de uma era*. Artmed, Porto Alegre, 2003.
- [30] PETTRE, J., LAUMOND, J., AND THALMANN, D. A navigation graph for real-time crowd animation on multilayered and uneven terrain.
- [31] REICH, B., KO, H., BECKET, W., AND BADLER, N. I. Terrain reasoning for human locomotion. In *In Proceedings of Computer Animation ’94* (1994), IEEE Computer Society Press, pp. 996–1005.
- [32] REYNOLDS, C. W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. In *SIGGRAPH ’87: Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (New York, NY, USA, 1987), ACM, pp. 25–34.
- [33] RODRIGUES, R. A., LIMA BICHO, A., PARAVISI, M., JUNG, C. R., MAGALHAES, L. P., AND MUSSE, S. R. Tree paths: A new model for steering behaviors. In *IVA ’09: Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents* (Berlin, Heidelberg, 2009), Springer-Verlag, pp. 358–371.
- [34] RUNIONS, A., FUHRER, M., LANE, B., FEDERL, P., ROLLAND-LAGAN, A.-G., AND PRUSINKIEWICZ, P. Modeling and visualization of leaf venation patterns. In *SIGGRAPH ’05: ACM SIGGRAPH 2005 Papers* (New York, NY, USA, 2005), ACM, pp. 702–711.
- [35] RUNIONS, A., LANE, B., AND PRUSINKIEWICZ, P. Modeling trees with a space colonization algorithm. In *Proceedings of the Eurographics Workshop on Natural Phenomena* (Aire-la-Ville, Switzerland, 2007), Eurographics Association, pp. 63–70.
- [36] SHAO, W., AND TERZOPOULOS, D. Autonomous pedestrians. In *SCA ’05: Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation* (New York, NY, USA, 2005), ACM Press, pp. 19–28.

- [37] SIGHELE, S. *A multidão Criminosa - Ensaio de Psicologia Coletiva*. Tradução Adolfo Lima., 1954.
- [38] STILL, G. K. *Crowd Dynamics*. PhD thesis, University of Warwick, Coventry, UK, 2000.
- [39] STOUT, B. Smart moves: Intelligent pathfinding. *Game Developer Magazine* (October 1996), 28–35.
- [40] SUD, A., ANDERSEN, E., CURTIS, S., LIN, M., AND MANOCHA, D. Real-time path planning for virtual agents in dynamic environments. In *SIGGRAPH '08: ACM SIGGRAPH 2008 classes* (New York, NY, USA, 2008), ACM, pp. 1–9.
- [41] SUD, A., ANDERSEN, E., CURTIS, S., LIN, M. C., AND MANOCHA, D. Real-time path planning in dynamic virtual environments using multiagent navigation graphs. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 14, 3 (2008), 526–538.
- [42] THALMANN, D., AND MUSSE, S. R. *Crowd Simulation*. Springer-Verlag London Ltd, 2007.
- [43] VAN DEN BERG, J., LIN, M., AND MANOCHA, D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation. In *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on* (2008), pp. 1928–1935.
- [44] VAN DEN BERG, J., PATIL, S., SEWALL, J., MANOCHA, D., AND LIN, M. Interactive navigation of multiple agents in crowded environments. In *I3D '08: Proceedings of the 2008 symposium on Interactive 3D graphics and games* (New York, NY, USA, 2008), ACM, pp. 139–147.
- [45] VIANA, M. G. *Psicologia das Multidões Infantis e Adultas*. Porto Barreira, Porto, s.d.
- [46] WOO, M., NEIDER, J., AND DAVIS, T. *OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL version 1.2*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1999.
- [47] YEH, H., CURTIS, S., PATIL, S., VAN DEN BERG, J., MANOCHA, D., AND LIN, M. Composite agents. In *SCA '08: Proceedings of the 2008 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation* (Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2008), Eurographics Association, pp. 39–47.
- [48] ZHU, N., WANG, J., AND SHI, J. Application of pedestrian simulation in olympic games. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 8, 6 (2008), 85 – 90.

A. Publicações Obtidas

Este apêndice apresenta as publicações obtidas durante o decorrer do curso de mestrado.

A.1 Artigos em Anais de Conferências

CASSOL, Vinícius; MARSON, Fernando; VENDRAMINI, Mateus; PARAVISI, Marcelo; BICHO, Alessandro; JUNG, Cláudio; MUSSE, Soraia. *Simulation of Autonomous Agents Using Terrain Reasoning* (To Appear - 2011). In: Computer Graphics and Imaging - CGIM 2011, Innsbruck - Austria.

CASSOL, Vinícius; MARSON, Fernando; MUSSE, Soraia. *Procedural Hair Generation*. In: SBGames: Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2009, Rio de Janeiro. Anais do SBGames, 2009. p. 185-190.

A.2 Resumo em Anais de Conferência

CASSOL, Vinícius; MARSON, Fernando; VENDRAMINI, Mateus; PARAVISI, Marcelo; BICHO, Alessandro; JUNG, Cláudio; MUSSE, Soraia. *Computing Agents Motion using Terrain Reasoning*. In: 10th International Conference on Intelligent Virtual Agents, 2010, Philadelphia. Booklet of short papers of 10th International Conference on Intelligent Virtual Agents, 2010. p. 10-11.

A.3 Capítulo de Livro

CASSOL, Vinícius; MUSSE, Soraia. *Simulando Multidões: Aplicações de Segurança e Entretenimento*. Anais STIN 2010 - I Simpósio de Tecnologia de Informação do Noroeste do Estado do RS. 2010.

A.4 Artigo em Periódico

CASSOL, Vinícius; LOPES, Lucelene; RIVA, Aline. *Utilização de Máquina de Turing aplicada a um problema de comparação de Listas de Palavras*. Revista Brasileira de Computação Aplicada, v. 2, p. 32-46, 2010.