

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**

FRANK CÉSAR LOPES VÉRAS

**Modelagem e Simulação do Deslocamento de Pessoas para
Estimativa de Formação de Grupos**

**João Pessoa – PB
2013**

FRANK CÉSAR LOPES VÉRAS

**Modelagem e Simulação do Deslocamento de Pessoas para
Estimativa de Formação de Grupos**

Dissertação de Mestrado submetida ao curso de
Pós-Graduação em Informática da Universidade
Federal da Paraíba como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Vasconcelos Brito

**João Pessoa – PB
2013**

X000x Veras, Frank César Lopes.

***1.1.1.1 Modelagem e Simulação do Deslocamento de Pessoas para
Estimativa de Formação de Grupos / Frank César Lopes
Véras. - - João Pessoa: [s.n.], 2013.***

XXX f. : il.

Orientador: Alisson V, Brito.

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN.

1. Rede de Sensores sem Fio. 2. ZigBee. 3. Simulação. 4. Ptolemy 5. RIFD

“Vocês são o sal da terra. Ora, se o sal perde o gosto, com que poderemos salga-lo? Não serve para mais nada; serve só para ser jogado fora e ser pisado pelos homens. Vocês são a luz do mundo. Não pode ficar escondida uma cidade construída sobre um monte. Ninguém acende uma lâmpada para coloca-la debaixo de uma vasilha, e sim para coloca-la no candeeiro, onde ela brilha para todos os que estão em casa. Assim também: que a luz de vocês brilhe diante dos homens, para que eles vejam as boas obras que vocês fazem, e louvem o Pai de vocês que está no céu”.

A Força do Testemunho. Mateus 5, 13-16.

Dedicatória

Dedico inteiramente este trabalho a minha esposa, por seu exemplo de perseverança e dedicação. E aos meus filhos, por serem uma bela extensão de minha vida.

Agradecimentos

Ao Senhor Deus, pela graça da vida, pelo dom da sabedoria, por iluminar meus passos em todos os momentos de minha existência e por permitir que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Alisson Brito, por ensinar com seriedade, rigor, criatividade e inteligência e pelo apoio preciso nas dúvidas mais difíceis.

Aos meus pais, pelo apoio e pela educação familiar e religiosa que recebi ao longo dos anos.

Ao meu irmão Fábio e sua esposa, às irmãs Fernanda, Cinara, Cibele e seus esposos, sobrinhos e sobrinhas, pela presença familiar e apoio concedido.

Ao meu primo Tuta, sua esposa Jôsy, seus filhos Bergson e Gabi, meu primo Pedro Henrique, sua esposa Catarina, seus filhos Pedro Luis e Ana Luisa, pelo valoroso e inestimável espaço concedido em suas casas e famílias.

Ao meu primo Levi, sua esposa Juliana e seu filho José Davi, pela força incondicional, carinho e presença na vida de minha família.

Aos amigos de mestrado Roberto, Claudio e Wagner, pela ajuda ao longo da pós-graduação.

Aos meus cunhados, Mourinha e Daniel, e respectivas esposas, e as minhas cunhadas, Mardônia e Dinamara, e respectivos esposos, e a seus filhos e filhas. Agradeço individualmente a cada um, por suas presenças e palavras de incentivo.

Ao meu sogro, Sr. Moura, pela forma paterna e amiga com que se posicionou desde o início de meu namoro com sua filha.

A minha sogra, Dona Sônia, pelo grandioso exemplo de fé e dedicação à família e por ter tomado minha vida como a de um filho.

Aos meus filhos, Samuel e Luara, por entenderem as dolorosas ausências e pela preciosa ajuda que deram em casa. Amo vocês.

E, de forma especial e com muito amor, a minha doce esposa, por seu companheirismo, fidelidade, sensatez e por fazer-me sentir a força do verdadeiro amor. Sem você, nenhuma letra seria aqui escrita. Eterna gratidão.

Resumo

O uso das Redes de Sensores sem Fio (RSSF) tem sido difundido em diversas áreas de pesquisa e aplicação. A proposta deste trabalho é um estudo sobre como utilizar sensores para monitorar pessoas em movimento, tendo uma RSSF como meio no qual a pesquisa deverá ocorrer, porém com o intuito de prever a formação de grupos em determinadas regiões. Para a realização deste trabalho a rede foi projetada e testada no simulador Ptolemy II, usando o protocolo ZigBee de comunicação, e os sensores foram posicionados de acordo com um sistema de coordenadas cartesianas. A RSSF deverá detectar as pessoas e identificar características comuns de movimento, como velocidade, direção e tipo de movimento, por meio de parâmetros configurados no simulador. As pessoas envolvidas nos grupos serão identificadas por etiquetas RFID (Radio Frequency Identification) presas ao seu corpo. O movimento de multidão teve sua formalização matemática baseada em parâmetros como posição do grupo, quantidade de pessoas por grupo e duração do movimento, que definem as características necessárias para a simulação desse cenário. A partir da formalização do movimento da multidão, vários dados foram coletados em intervalos de tempo previamente determinados e interpretados por um algoritmo que, por meio da troca de mensagens entre sensores, estima a formação de multidão na região definida como alvo. Neste trabalho, foram inseridos tabelas e gráficos que refletem o número real de pessoas que se deslocam em direção ao alvo real. Esses dados foram gerados a partir da intensa troca de mensagens entre os sensores, obedecendo alguns parâmetros estabelecidos e que favorecem o algoritmo que estima a formação de multidão no alvo, em determinado tempo. A acurácia da previsão foi medida pela quantidade de alarmes emitidos e que estimam a formação de aglomerações de pessoas em determinada região. Assim, a detecção de pessoas pelos sensores é interpretada de acordo com a possibilidade de formação de grupos, tendo seus valores disseminados pela rede. A proposta é que essa ação facilite o processo de tomada de decisão e, conseqüentemente, ajude na caracterização da formação de multidões.

Palavras-chave: Rede de Sensores sem Fio, ZigBee, Simulação, Ptolemy II, RFID, Formação de Grupos.

Abstract

The use of Wireless Sensor Networks (WSN) has been widespread in many areas of research and application. The purpose of this work is a study on how to use sensors to monitor people on the move, having a WSN as a way in which the search will occur, but in order to predict the formation of groups in certain regions. For this work the network was designed and tested in the simulator Ptolemy II, using the ZigBee Communication protocol, where the sensors were positioned according to a Cartesian coordinate system. The WSN will detect people and identify common patterns of movement, such as speed, direction and type of movement, using parameters set in the simulator. People involved in the groups will be identified by RFID (Radio Frequency Identification) attached to his body. The movement of the crowd had its mathematical formalization based on parameters such as position of the group, number of people per group and duration of movement that define the characteristics necessary to simulate this scenario. From the formalization of the movement of the crowd, many data are collected at predetermined time intervals and interpreted by an algorithm, through the exchange of messages between sensors, estimates the crowd forming in the region defined as the target. In this work, were inserted charts and graphs that reflect the actual number of people moving towards the real target. These data are generated from the intense exchange of messages between sensors, obeying some parameters that favor established and the algorithm that estimates the crowd at the target formation at any given time. The accuracy of the prediction was measured by the amount of alarms issued that estimate and the formation of agglomerations of people in a given region. Thus, the identification of individuals by sensors is interpreted according to the possibility of formation of groups and their values disseminated by the network. The proposal is that this action will facilitate the process of decision making and thus help to characterize the formation of crowds.

Keywords — *Wireless Sensors Network, ZigBee, Simulation, Ptolemy II, RFID.*

Lista de Ilustrações

Figura 1. Diferentes topologias ZigBee [Faludi, 2010]	21
Figura 2. Componentes de um sistema RFID (Fonte: [Finkenzeller, 2003]).....	24
Figura 3. Ilustração do fluxo de dados em uma rede em cluster.....	30
Figura 10. Edição do parâmetro movimentoType	37
Figura 11. Esboço dos tipos de movimento	37
Figura 12. Parâmetros do Clock.....	38
Figura 13. Parâmetros do WirelessDirector.....	39
Figura 14. Parâmetros do Target.....	40
Figura 15. Distribuição dos sensores RFID Base e tráfego dos dados pela RSSF	41
Figura 16. Regiões e distância entre sensores.....	42
Figura 17. Área de localização da RSSF	44
Figura 20. Posições dos sensores centrais R1 a R15	50
Figura 21. Troca de mensagens entre sensores no tempo $t(5)$	51
Figura 22. Troca de mensagens entre sensores no tempo $t(10)$	52
Figura 23. Envio das mensagens Alert no tempo $t(10)$	54
Figura 24. Comunicação entre sensores no tempo $t(10)$	54
Figura 25. Cálculo do raio de um sensor RFID Base no ambiente real.....	55
Figura 26. Mensagem Alarm no sensor R1 (portão de entrada).....	57
Figura 27. Registros das coordenadas cartesianas por pessoa	59
Figura 30. Objetos pessoa prontos para iniciar a simulação	63
Figura 31. Ambiente de simulação das pessoas chegando ao estádio	64
Figura 32. Deslocamento das pessoas para o portão.....	64
Figura 33. Tempo de simulação próximo do fim.....	65
Figura 34. Log de detecção por sensor do Cenário 2.....	66
Figura 35. Rota de encontro das 100 pessoas	67
Figura 36. Objetos pessoa prontos para iniciar a simulação de encontro	68
Figura 37. Simulação do encontro das pessoas na região R8	69
Figura 40. Previsão em $t(25)$ para $t(40)$	78
Figura 41. Mensagens Alarm no tempo $t(50)$	79
Figura 42. Gráfico das regiões no cenário 2 em colunas: Quant. Pessoas (n) x Tempo (t)	81
Figura 43. Gráfico das regiões no cenário 2 em linhas: Quant. Pessoas (n) x Tempo (t). 81	
Figura 44. Mensagens Alarm no tempo $t(20)$	86
Figura 45. Mensagens Alarm no tempo $t(35)$	87

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tipos de dispositivos, segundo a IEEE 802.15.4.....	22
Tabela 2. Distribuição dos sensores RFID Base por região.....	42
Tabela 3. Dados coletados e processados no tempo $t(5)$	50
Tabela 4. Mensagens no tempo $t(10)$	52
Tabela 5. Coeficiente de Proporcionalidade	56
Tabela 6. Posições iniciais das pessoas no cenário 1.....	62
Tabela 7. Posições iniciais das pessoas no cenário 2.....	67
Tabela 8. Quantidade de pessoas no cenário 1: tempo (t) x região (R)	71
Tabela 9. Exemplo de troca de mensagens entre sensores.....	73
Tabela 10. Previsões de formação de grupos de pessoas em R1 e sua margem de erro...	76
Tabela 11. Quantidade de pessoas no cenário 2: tempo (t) x região (R)	80
Tabela 12. Troca de mensagens entre sensores do cenário 2.....	82
Tabela 13. Previsões do encontro de grupos de pessoas em R8 e sua margem de erro....	84

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Motivação	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	Metodologia	16
1.4	Organização do Trabalho	16
2	Redes de Sensores sem Fio (RSSF).....	18
2.1	Apresentação.....	18
2.2	Aplicações.....	20
2.3	Padrão de Comunicação ZIGBEE	20
2.4	Tecnologia RFID	23
2.4.1	Dados técnicos	23
2.4.2	RFID em nosso projeto	25
3	Trabalhos relacionados	27
4	Modelagem e Simulação do Deslocamento de Pessoas.....	32
4.1	Modelagem dos Componentes.....	32
4.2	Algoritmo para Estimativa de Formação de Grupos	46
4.2.1	Mensagens Notify (s, t_n, n, id)	46
4.2.2	Mensagens Alert (s_d, t_p, n)	47
4.2.3	Mensagens Alarm (t, n).....	48
4.2.4	Troca de mensagens	48
4.2.5	Relação de escalas do ambiente real com o simulado	55
5	Estudo de Caso: torcedores em partida de futebol.....	58
5.1	Introdução	58
5.2	Cenário 1: deslocamento pelo pátio de acesso ao estádio	59
5.3	Cenário 2: encontro de torcidas	65
6	Apresentação e Análise dos Resultados.....	70
6.1	Resultados do Cenário 1: deslocamento em direção ao portão de acesso	70
6.2	Resultados do Cenário 2: encontro de torcida	79
7	Considerações Finais	88

7.1 Sugestão para trabalhos futuros	89
Referências.....	91
Apêndice A – Troca de Mensagens.....	94
Apêndice B – Ambiente de Simulação Ptolemy II	103

1 Introdução

Recentemente, ambientes com grandes aglomerados de pessoas tem sido alvo de pesquisas, tendo alcançado resultados importantes para a humanidade. Locais em que existe uma movimentação intensa de pessoas são estudados com os mais variados propósitos como, por exemplo, emissão de alertas contra acidentes envolvendo pedestres e veículos em cruzamentos de ruas perigosas, descrito por Sun et al (2009) e os métodos aplicados para simular ações de pedestres, cujos padrões de movimento podem ser bem diferentes entre si, segundo Sarmady (2010). Esses aspectos demonstram que há necessidade tanto de controlar um ambiente com fluxo maior de pessoas, como de realizar a estimativa desses deslocamentos.

Em outro campo, etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*) surgem para somar-se às novas tecnologias, adequando-se a várias necessidades dos seres humanos e trazendo benefícios a esses. Atualmente, novas cidades já estão surgindo e utilizando as etiquetas de identificação. Segundo relatam Lee et al (2010), RFID é considerada a principal tecnologia para a realização em ambiente ubíquo, fornecendo a identificação de objetos físicos. Ele pode ser usado para cartões de identificação, controle de acesso, sistema de pedágio, monitoramento de carro, controle de linhas de fabricação, dentre outros.

As pesquisas em Redes de Sensores sem Fio (RSSF) também abrangem uma parcela significativa das pesquisas científicas e apresentam resultados expressivos, desenvolvendo aplicações para monitoramento de alvos em movimento e monitoramento de ambientes que se utilizam das RSSF como meio. Como em Li e Kao (2010), o rápido avanço da microeletrônica e o domínio das telecomunicações sem fio nas últimas décadas, tornaram possível o uso de sensores miniaturizados de baixo custo para coletar informações em áreas de sensoriamento.

O uso da tecnologia para simular determinadas situações do cotidiano, como deslocamento de veículos, saúde dos seres vivos ou eventos naturais (chuvas e terremotos, por exemplo), tornou-se mais intenso ao longo dos últimos anos. Segundo Marin-Perianu (2008), recentemente as aplicações de RSSF sofreram uma mudança de paradigma, quando

passaram do ambiente estático para ambientes mais dinâmicos, onde os nós são móveis e interligados a pessoas, animais e objetos em movimento.

Observando os avanços nas áreas apontadas acima e as ferramentas que essas oferecem, este trabalho apresenta uma técnica para estimar o movimento de grupos de pessoas em determinado ambiente.

1.1 Motivação

O uso de tecnologias com o intuito de controlar multidões, bem como o desejo de encontrar soluções práticas para evitar transtornos envolvendo grandes públicos, são causas que motivaram o trabalho ora descrito. Os resultados das pesquisas nesta área podem ser muito bem aplicados na rotina social e cotidiana do ser humano, na forma de métodos, técnicas e/ou sistemas, com benefícios diretos, trazendo tranquilidade e segurança.

A pesquisa foi idealizada simulando o ambiente em que pessoas estão em deslocamento e que buscam atingir determinado ponto, por exemplo, um portão de acesso. Dessa forma, o uso de um framework rico em funcionalidades, foi aplicado para a implementação do ambiente de testes. O estudo dessas tecnologias e o desejo de estimar a formação de grupos de pessoas, em condições temporais futuras, também impulsionaram a pesquisa. A simulação e os testes aplicados ao longo do desenvolvimento da técnica proporcionaram resultados expressivos para a área de modelagem de sistemas, além de contribuir para a área das RSSFs. A própria possibilidade de construir e testar, em ambiente simulado, condições críticas como aglomeração de pessoas em determinado local, também estimularam a pesquisa nessa área. Muitos são os benefícios trazidos por pesquisas com essa finalidade. A real possibilidade de se ter soluções preventivas de segurança e que, a exemplo da recente tragédia de Santa Maria – RS envolvendo multidão em pânico motiva ainda mais a pesquisa. Nesse episódio, morreram 240 pessoas que estavam no interior de uma boate, cujo revestimento do teto foi atingido pelas fagulhas de um dispositivo pirotécnico disparado pela banda que tocava na ocasião. A fumaça tóxica produzida e a falta de alternativas de segurança para a evacuação do prédio foram as principais causas das mortes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Propor uma técnica que realize a estimativa do movimento de multidões, desenvolvido em ambiente simulado e aplicado às redes de sensores sem fio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Desenvolver um modelo para detectar o deslocamento de multidões;
- ✓ Desenvolver uma técnica para estimativa de formação de multidões.

1.3 Metodologia

Para que o trabalho transcorresse de forma organizada e dentro de um tempo de execução aceitável, foram adotados alguns passos que ajudaram a definir a metodologia apropriada. Essa organização ajudou no encaminhamento dos resultados do projeto e seguiu a seguinte estrutura:

- ✓ Levantar o estado da arte;
- ✓ Realizar comparações entre simuladores disponíveis que tenham ferramentas úteis para a simulação do deslocamento de pessoas;
- ✓ Definir um modelo para o “Movimento de Multidão” para que a simulação se aproxime do evento em si;
- ✓ Desenvolver um ambiente de simulação;
- ✓ Propor um algoritmo para estimativa de movimento de multidões;
- ✓ Desenvolver um estudo de caso para validar o modelo.

1.4 Organização do Trabalho

A estrutura organizacional deste trabalho compreende oito capítulos. O primeiro capítulo refere-se à Introdução ao conteúdo das Redes de Sensores, em que é apresentada

tanto a realidade sobre o tema, como a Motivação, os Objetivos e a Metodologia aplicada que impulsionaram o seu desenvolvimento.

O Capítulo dois aborda com mais especificidade as Redes de Sensores sem Fio (RSSF), no qual é feita uma apresentação da teoria geral que envolve o tema, as Aplicações direcionadas aos sensores e um estudo sobre o padrão ZigBee de comunicação em redes de sensores sem fio, e sobre RFID (*Radio Frequency Identification*).

No Capítulo três é apresentada uma análise dos Trabalhos Relacionados às simulações de RSSF, considerando pesquisas com soluções para o mesmo problema ou que tem alguma semelhança com o trabalho ora descrito.

O Capítulo quatro aponta o trabalho propriamente dito e discorre sobre a modelagem e a simulação do deslocamento de pessoas. Neste capítulo, é apresentado o Ambiente de Simulação, e os aspectos mais relevantes do software Ptolemy II, que foi utilizado para desenvolver as simulações deste trabalho e a Modelagem dos Componentes.

O Capítulo cinco detalha o algoritmo que estima a formação de grupos, descrevendo a troca intensa de mensagens entre os sensores da rede, de acordo com uma escala estabelecida entre o ambiente real e o simulado.

O Capítulo seis apresenta o Estudo de Caso que aponta, em detalhes, os dois Cenários de Simulação que são executados neste trabalho. Os resultados obtidos e suas respectivas discussões são apresentados no Capítulo sete.

O Capítulo oito finaliza este trabalho com as Considerações Finais, no qual são apresentadas discussões sobre o futuro deste trabalho.

2 Redes de Sensores sem Fio (RSSF)

Este capítulo destina-se à apresentação geral da teoria sobre Redes de Sensores sem Fio, algumas de suas características, aplicações e protocolos que ajudaram a moldar as pesquisas contidas nesta dissertação.

Os protocolos para redes de sensores surgiram da necessidade de se ter um padrão de comunicação entre os vários dispositivos existentes no mercado, pois há alguns anos, redes que operavam com tecnologia a rádio atuavam com soluções de comunicação próprias, mantendo sérios problemas de interoperabilidade.

Ao longo dos anos, a comunicação sem fio vem avançando bastante, principalmente pelo desenvolvimento de alguns padrões de comunicação, por exemplo, o Wi-Fi, o Bluetooth e o ZigBee.

2.1 Apresentação

Nos últimos anos, o uso de sensores tem avançado consideravelmente e ajudado o homem nos mais variados campos. Seus benefícios são cada vez mais evidentes e seu uso tem sido difundido em diversas áreas de pesquisa e aplicação, como o descrito em [Yueqing e Lixin 2010]. Observando a sua integração aos inúmeros dispositivos existentes atualmente, bem como em máquinas e em diversos ambientes, percebe-se que as pesquisas já realizadas encontram aplicações bastante apropriadas.

As RSSF cresceram e melhoraram rapidamente e isto permitiu novos serviços de comunicação, sendo úteis na coleta de vários parâmetros e informações necessárias para ambientes como o industrial, casas, edifícios [Castaño e Moreno 2010], serviços públicos, transporte etc [Mittal e Bhatia 2010].

A computação ubíqua, como apresentado por (Munir et al, [2007]), é uma realidade que se traduz na aplicabilidade das RSSF. A implantação de RSSF, móveis ou fixas, e o uso de sensores inteligentes em áreas ligadas a processos físicos, químicos, biológicos, assim como em várias outras é um fato relevante e notório nos dias atuais. Cada vez mais se percebe uma maior conexão entre o homem e a tecnologia da informação disponível nos mais variados ambientes e dispositivos.

Segundo Cheng (2008), qualquer ambiente de computação não pode ser considerado como ubíquo, se não pode prestar serviços a seus usuários a qualquer momento. Portanto, a onipresença da computação é um fator que caracteriza bem a computação ubíqua e melhora a compreensão de sua extensão.

Para realizar essa ligação das muitas realidades do cotidiano com as tecnologias disponíveis para o desenvolvimento de sensores é que aspectos como a miniaturização dos componentes computacionais e das próprias tecnologias de sensoriamento¹, bem como consumo de energia e custo mais baixo desses dispositivos, tornaram-se mais atrativos para projetos na área ao longo dos anos.

Diante deste cenário favorável, fica claro o crescente desenvolvimento de sensores, não apenas na área de sistemas aeroespaciais ou militares, mas também contribuindo para o conforto e segurança do mundo civil. Segundo Dargie e Poellabauer (2010), redes de centenas de sensores já estão sendo utilizadas para monitorar grandes áreas geográficas para modelagem e previsão de poluição ambiental e inundações, coleta de informações da saúde estrutural em pontes, utilizando sensores de vibração, controle do uso da água, de fertilizantes e de pesticidas para melhorar a saúde das culturas.

Uma RSSF é uma rede de dispositivos com grande área de detecção, coberta por um determinado número de sensores que utilizam tecnologia de comunicação sem fio. A definição da área de cobertura da rede e a quantidade de sensores envolvidos são bastante relativas e dependerá das necessidades que cada aplicação exige do projeto a ser executado. No entanto, alguns aspectos devem ser observados que retratam a importância de um planejamento anterior às etapas de montagem e execução da rede, como o que sugere Glaser et al (2008), pois as RSSF enfrentam desafios como a energia limitada, memória e poder de processamento, exigindo um estudo detalhado antes de implantá-la no mundo real.

¹ Dependendo do contexto, alguns autores utilizam também o termo “detecção”.

2.2 Aplicações

O uso das RSSF também vem se destacando e alcançando resultados expressivos, observando que para o desenvolvimento de aplicações pode ser considerado um tipo particular de Redes Móveis Ad-Hoc (Mobile Ad-hoc NETwork – MANET). Neste caso, ela é formada por centenas ou milhares de dispositivos de detecção de comunicação por meio de transmissão sem fio, conforme Egea-López et al (2005).

Segundo Li e Kao (2010), a eficiência das muitas aplicações para RSSF, tais como rastreamento de alvo em movimento ou monitoramento de ambiente, é dependente da garantia de um monitoramento constante de toda área de vigilância, de tal forma que eventos importantes não serão despercebidos. Na prática, nós sensores podem sofrer danos, ser destruídos ou consumir toda sua energia armazenada na bateria. Assim também, Mittal e Bhatia (2010) advertem para as graves limitações de recursos que uma RSSF tem, incluindo a vida da bateria, largura de banda de comunicação, bem como a capacidade e armazenamento da CPU (*Central Processing Unity*). Dessa forma, pode ocorrer que uma área monitorada não seja coberta por nenhum sensor.

Dentre as várias aplicações das RSSF destacam-se, conforme Mittal e Bhatia (2010), monitoramento de ambientes (até mesmo o selvagem), atividades militares, monitoramento da saúde humana ou animal, gerência de tráfego, serviços meteorológicos, poluição. Todas essas aplicações reais geram um grande volume de dados para mineração, tendo sido uma tarefa frutífera.

2.3 Padrão de Comunicação ZIGBEE

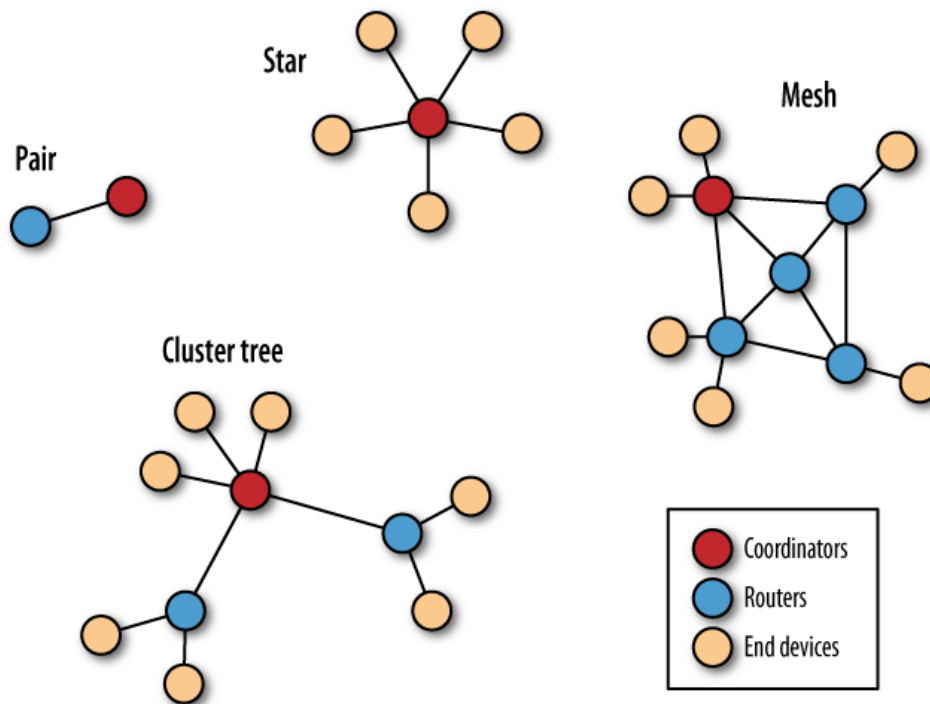
O surgimento do padrão ZigBee assemelha-se ao de muitos outros itens tecnológicos, que evoluíram para atender a demandas mais exigentes. A própria telefonia celular nasceu da necessidade de serviços de comunicação mais ágeis e com alcances maiores. Assim, as redes ZigBee nasceram da necessidade de atender a muitas aplicações em que padrões como o *Bluetooth*, por exemplo, já não atendiam mais.

Segundo Song (2011), ZigBee tornou-se recentemente uma das mais importantes e significativas opções para RSSF. As vantagens oferecidas pelo padrão, tais como baixo consumo de energia, baixa taxa de transferência de dados e de baixo custo, levaram as

aplicações de rede ZigBee para áreas como, automação residencial, áreas industriais, controle e comerciais, conforme [ZigBee-Alliance, 2012]. A ZigBee-Alliance e o IEEE introduziram no mercado o protocolo ZigBee, baseado na norma IEEE 802.14.5.

Na Figura 1 são apresentadas algumas topologias utilizadas em redes ZigBee, e merecem destaque os três tipos de dispositivos: Coordenador (*Coordinators*), Roteador (*Routers*) e Dispositivos Finais (*End Devices*). Para o IEEE 802.15.4, os três tipos de dispositivos estão presentes em duas categorias, definidas de acordo com funcionalidades oferecidas e o consumo de energia. Essas duas categorias são apresentadas na Tabela 1.

Figura 1. Diferentes topologias ZigBee [Faludi, 2010]



Segundo Faludi (2010) e GTA (2010), a) uma topologia Estrela (*Star*) tem um arranjo mais simples, em que o Coordenador encontra-se ao centro da rede e está encarregado de se comunicar com qualquer dispositivo presente nela. Como os dispositivos finais não se comunicam diretamente, cada mensagem passa pelo Coordenador que a encaminha para os devidos dispositivos. Essa topologia é apropriada para locais com poucos obstáculos, em relação à transmissão dos sinais de rádio; b) na topologia em Malha (*Mesh*) todos os dispositivos podem se comunicar entre si, desde que estejam dentro do

alcance. Com a ajuda de um nó pai, os dispositivos finais podem gerar e fornecer informações. Para que esse tipo de rede possa abranger uma grande área geográfica, ela pode reorganizar-se com o intuito de melhorar o tráfego dos dados. Essa topologia pode ser implantada em prédios de vários andares, sistemas de irrigação, grandes galpões, dentre outros; d) na topologia em Árvore (*Cluster tree*), os dispositivos finais estão agrupados em torno de cada roteador e têm semelhança com a topologia em *Mesh*, podendo ser vista como um aglomerado de redes com essa topologia. Também pode ser usada para aumentar a cobertura geográfica da rede, mas a desvantagem é o aumento no atraso das mensagens.

Tabela 1. Tipos de dispositivos, segundo a IEEE 802.15.4

Tipos de dispositivos	Funcionalidades oferecidas disponíveis no protocolo	Fonte de alimentação típica	Configuração típica do receptor
Full Function Device (FFD)	A maioria ou todas	Principal	Ligado quando em espera
Reduced Function Device (RFD)	Limitada	Bateria	Desligado quando em espera

Ainda segundo Faludi (2010) e GTA (2010), a) um dispositivo Coordenador (FFD) é único e responsável pela formação da rede, distribuindo endereços e gerenciando outras funções. Ele pode formar uma rede permitindo que roteadores e dispositivos finais integrem-se a esta; b) um dispositivo Roteador (FFD) pode enviar, receber e rotear informações. Utilizando tabelas de roteamento, eles permitem encontrar o menor caminho para se chegar ao destino; c) os Dispositivos Finais (RFD) são auxiliados pelos Coordenadores a se integrarem à rede e comunicam-se diretamente com o roteador pai. Não agem como mensageiros de outros dispositivos, nem como coordenadores. Passam quase todo o tempo em estado inativo, então usam menos memória e potência, o que torna seu custo menor.

As vantagens do padrão ZigBee apresentadas neste tópico, trazem uma variedade crescente de aplicações nos mais variados âmbitos, como por exemplo:

- ✓ Automação de controles domésticos – controle de diversos sistemas da casa em redes *Mesh*: luzes, ar condicionado, TV e outros dispositivos em geral;

- ✓ Aplicações para monitoramento de saúde – episódico (sinais vitais, pressão sanguínea, nível de glicose), contínuo (análise constante do estado de saúde) e alarme (disparado em condições específicas);
- ✓ Automação de controles industriais e comercial de edifícios;
- ✓ Controle de irrigação;
- ✓ Aplicações automotivas;
- ✓ Redes de controle e sensores sem fio.

2.4 Tecnologia RFID

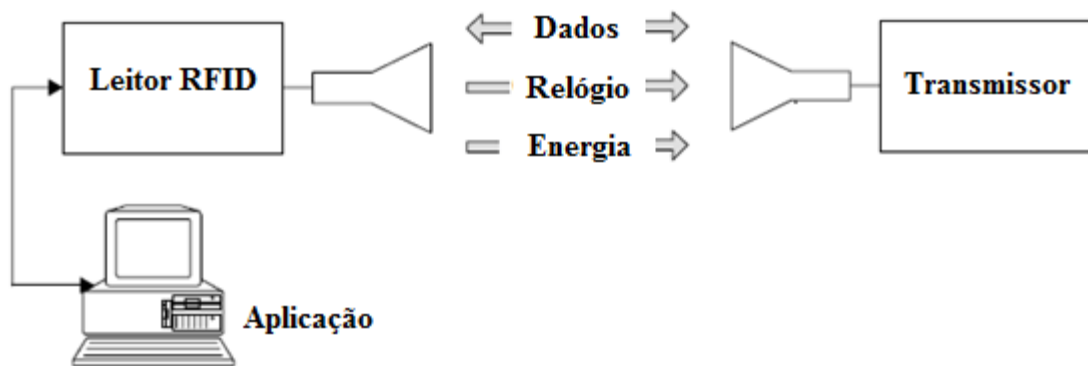
A tecnologia de RFID (*Radio Frequency Identification*) surgiu por volta dos anos 40 e é uma expressão utilizada genericamente para as tecnologias que utilizam sinais de rádio para recuperar e armazenar dados remotamente.

2.4.1 Dados técnicos

Um sistema RFID, exemplificado na Figura 2, é composto de dois componentes, conforme Finkenzeller (2003): uma etiqueta RFID, (*transponder* ou *tag*), que fica no objeto a ser localizado, e um leitor (*reader*), que, dependendo do projeto e da tecnologia utilizada, pode ser um dispositivo de leitura ou de leitura/escrita. Segundo Sharma e Siddiqui (2010), um leitor pode ter múltiplas antenas responsáveis por enviar e receber ondas de rádio. Uma etiqueta possui três partes: (a) um substrato que contém um chip e outros elementos eletrônicos, (b) uma antena que é conectada ao chip e (c) o encapsulamento que pode ser fabricado em PVC (Policloreto de Vinila), epóxi, resina ou outros materiais. No entanto, o chip é o principal componente da etiqueta, pois ele executa o controle e a comunicação com o leitor, além de armazenar os dados em sua memória. As antenas são responsáveis pela transmissão de informações geradas pelo chip, como localização e identificação da etiqueta. Estas são enviadas para o leitor que as transmite para um computador, disponibilizando os dados para as devidas aplicações.

Através de um sinal de rádio o leitor ativa a etiqueta permitindo a troca/envio dos dados reais carregados por ela. Dessa forma, quando uma etiqueta passa pela área de cobertura de um leitor, este dispositivo detecta sua presença e decodifica os dados codificados na etiqueta, enviando-os para um computador que os processa.

Figura 2. Componentes de um sistema RFID (Fonte: [Finkenzeller, 2003])



A conexão entre a etiqueta e a base transmissora pode ser feita de duas formas: (a) de forma passiva, em que a etiqueta responde ao sinal enviado pela base, e (b) de forma ativa, em que a etiqueta possui autonomia para enviar seu próprio sinal, já que ela possui uma bateria própria. Obviamente, esta última tem um custo mais elevado. As etiquetas passivas trabalham sem bateria e sua alimentação vem do próprio leitor, através de suas ondas eletromagnéticas.

Para cada tipo de aplicação, há um leitor que se adapta melhor àquela situação, já que ele tem tamanho, formato e configurações bem distintas.

Devido à possibilidade de interferência das ondas magnéticas emitidas pelos sistemas RFID, as frequências foram classificadas² mundialmente como escalas de frequência de ISM (*Industrial-Cientific-Medical*), podendo assim ser utilizadas para aplicações RFID.

A faixa de frequência das RFID opera em dois sistemas: (a) sistema de baixa frequência (30 KHz a 500 KHz), utilizado para curtas distâncias e de baixo custo operacional (frequentemente aplicada para controle de acesso, rastreabilidade e identificação), e (b) sistema de alta frequência (850 MHz a 950 MHz e 2,4 GHz a 2,5 GHz), utilizado para médias e longas distâncias e leituras a alta velocidade (frequentemente aplicada a veículos e à coleta automática de dados).

Estas faixas evitam que serviços de rádio móveis (polícia, indústria e outros), serviços de rádio marinhos e aeronáuticos e telefonia móvel sejam prejudicados ou danificados pelo sistema de RFID.

² Os dados sobre faixa de frequência de um sistema RFID foram extraídos do [GTA – UFRJ].

Um fator relevante para que um projeto com RFID seja bem sucedido é a distância entre o leitor e a etiqueta. Fatores como tipo da etiqueta (ativa ou passiva), tamanho da antena, potência da antena, frequência utilizada, dentre outros, necessitam de planejamento prévio. Assim, essa distância pode variar de poucos centímetros a vários metros. Outro fator de relevância é a capacidade de armazenamento. Um chip RFID de um sistema passivo, por exemplo, tem capacidade variando entre 64 *bits* a 8 *kilobits*, dependendo de sua aplicação.

Por seu tamanho pequeno, as etiquetas podem ser colocadas junto ao corpo de animais, pessoas, embalagens, veículos, equipamentos ou qualquer outro objeto e, dessa forma, o seu uso pode ser observado em várias aplicações, como por exemplo:

- ✓ Ambiente hospitalar – acompanhando pacientes e/ou funcionários, remédios e equipamentos.
- ✓ Veículos – facilitando a movimentação em estacionamentos e pedágios.
- ✓ Ambiente Industrial – identificando recipientes, embalagens, garrafas, produtos e ferramentas.
- ✓ Ambiente Comercial – auxiliando pessoas em tarefas do cotidiano, como ler o preço ou outras características de um produto, identificação de malas em aeroportos, *check in* em hotéis.
- ✓ Bibliotecas – organizando os processos administrativos, como devolução e empréstimo de acervo, controle de acesso de funcionários e usuários, dentre outros.

Identificação animal – agindo no controle de epidemias, no controle de qualidade e procedência.

2.4.2 RFID em nosso projeto

No contexto deste trabalho, o deslocamento de pessoas e os demais elementos que compõem a RSSF, serão simulados. A detecção, identificação e localização dessas pessoas serão feitas por meio da comunicação estabelecida entre as etiquetas RFID acopladas ao corpo das pessoas e aos sensores RFID Base, conforme será definido no Capítulo 4. Estes últimos enviarão os dados coletados aos sensores centrais para que sejam processados, de acordo com o algoritmo que estima a formação de grupos de pessoas.

Dessa forma, a tecnologia RFID e seus dispositivos, conjugados ao protocolo ZigBee, foram apropriados ao projeto. O processo de detectar, identificar e localizar as pessoas, mediado por essas tecnologias, auxiliará cálculo da estimativa de formação de grupos de pessoas, em determinada região do ambiente simulado e com um grau de antecipação aceitável.

3 Trabalhos relacionados

Em Zobel (2010) são apresentadas algumas causas de eventos naturais e indica a modelagem e a simulação tanto como ferramentas que podem ser usadas para minimizar os efeitos desses eventos, como também para oferecer, em curto prazo, medidas paliativas, como sistemas de alerta que emitem respostas de regiões críticas e desastres iminentes. Na mesma área de estudo, [Libatique, 2009] utiliza-se de eventos naturais, mas para um projeto de engenharia que cria um sistema que pode disparar alarmes para situações de perigo eminente, como deslizamentos de terra e inundações. Em nosso trabalho e de forma semelhante, também entendemos que modelar e simular eventos são uma boa alternativa para que consequências danosas ao ambiente sejam evitadas. E por isso, apresentamos em ambiente simulado, testes que detectem, através da comunicação entre sensores, situações críticas envolvendo deslocamento de pessoas, como formação de multidão em determinada região. Nesses casos, alarmes são disparados de forma preventiva e com certo grau de antecedência.

A técnica de Brito (2007) desenvolveu uma metodologia para modelagem e simulação capaz de auxiliar na avaliação da utilização da reconfiguração dinâmica em sistemas digitais. Para alcançar esse objetivo, uma ferramenta de simulação de reconfiguração dinâmica foi desenvolvida aplicando-se modificações no código-fonte do núcleo do SystemC³, que possui código aberto e livre. Segundo o autor, o projeto SystemC foi a escolha apropriada por que o fato de ter seu código fonte aberto, permitiu-o a possibilidade de estender suas funcionalidades para permitir a simulação de sistemas dinamicamente reconfiguráveis. O nosso trabalho optou por utilizar o projeto Ptolemy II⁴ por entender que suas funcionalidades são ricas o suficiente para atingir nossos objetivos, além do fato de não termos a necessidade de sintetizar elementos e, sim, criar ou destruir objetos durante a execução, testando o algoritmo desenvolvido para o mesmo.

No trabalho de Egea-López et al (2005) são feitas considerações sobre a importância da simulação para o estudo das RSSF's. Segundo os autores, uma RSSF pode ser considerada uma Rede Móvel *Ad-hoc* (MANET) e compartilham problemas técnicos

³ Disponível em www.systemc.org

⁴ Disponível em <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII/ptII8.0/index.htm>

similares. Eles também descrevem um modelo para simulação de RSSF, enfatizando a modelagem da rede e de seus nós. Fortalecendo essa opinião, nossa pesquisa simula tanto um ambiente real, como a própria RSSF implantada nesse ambiente simulado. Eles apresentam análises comparativas entre alguns simuladores de RSSF, como NS-2, OMNET++ e PTOLEMY II, além de revisar extensos ambientes de simulação. Detalhes descritos pelos autores como máxima flexibilidade, rica biblioteca e facilidade de uso do editor gráfico relativos ao framework Ptolemy II, simulador escolhido para nosso trabalho, são confirmados pelos testes que realizamos e por atender as nossas necessidades de simulação do ambiente sugerido pelo tema da dissertação.

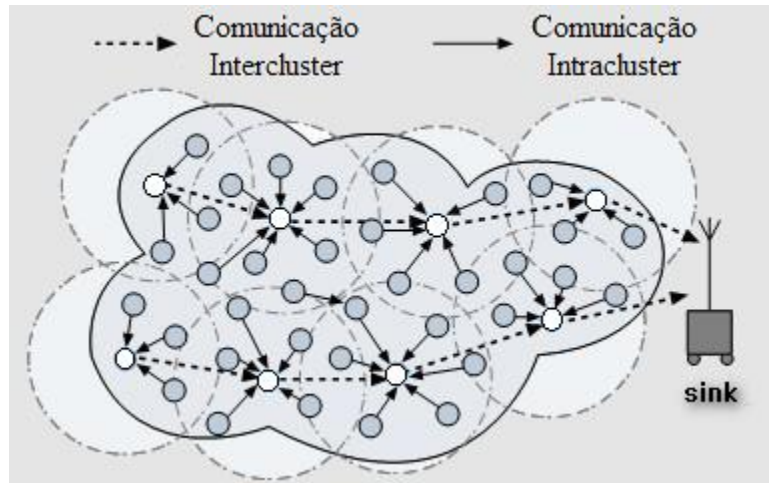
A proposta de Castaño e Moreno (2010) é de trabalhar com um sistema que combina o uso de uma rede *ZigBee* à tecnologia RFID para o monitoramento do comportamento de pessoas que se deslocam em um edifício (museus, exposições, centros médicos), com a possibilidade de orientar o público em caso de evacuação do local. De forma semelhante ao nosso projeto, os detectores foram colocados em pontos estratégicos, denominados de zonas, que captam os movimentos e enviam, via rede *ZigBee*, para um computador principal. Este último armazena as informações que podem ser utilizadas para estudar e descrever as preferências das pessoas, como locais mais visitados, tempo de visitação, fluxo de pessoas e, quando necessário, auxiliar os gerentes desses locais a orientar as pessoas em caso de situações emergenciais. Essa orientação é feita com a ajuda de um programa de planejamento que atua sobre o fluxo de pessoas e o nível de ocupação em determinada região. Segundo os autores, a análise desses pontos aponta a melhor rota a ser tomada pelas pessoas, em caso de emergência. Em nosso trabalho, também idealizamos uma rede *ZigBee* de sensores que detectam o movimento de pessoas através de dados enviados por etiquetas RFID. Nesse caso, através da própria comunicação entre sensores, cujos dados são processados, é feita uma análise algorítmica que verifica se as quantidades de pessoas que deverão estagnar-se em certos locais serão críticas e se alarmes deverão ser emitidos. Em caso afirmativo, ações poderão ser tomadas evitando, por exemplo, pânico, tumulto ou situações graves envolvendo multidões. Portanto, estudar o deslocamento de pessoas também foi o nosso foco, porém preferimos analisar os dados para estimar, com um grau de antecedência aceitável, a formação de multidão em determinada região.

O trabalho de Mittal e Bhatia (2010) trata do uso de RSSF em ambientes ou áreas, cujos dados são extraídos e analisados, por exemplo, da temperatura de florestas, bioinformática, contaminação da água, controle de tráfego, telecomunicações e outras. Os métodos utilizados nesse trabalho para mineração de dados, como pré-processamento, análise de cluster e correspondência de padrões, são aplicados na proposta de uma técnica que detecte irregularidades em sensores ocasionadas por algum problema técnico ou por eventos naturais, mas que ajudem na modelagem desses dados. A técnica que propomos em ambiente simulado realiza a busca (ou mineração) dos dados relativos às quantidades de pessoas detectadas, através dos recursos que criamos no algoritmo que organiza a comunicação entre os sensores. Nosso trabalho não se preocupou com a possibilidade da ocorrência de falhas em sensores, por estar realizando toda a pesquisa de forma simulada. Dessa forma, garantimos que os resultados não seriam afetados por esse motivo, embora saibamos que essa realidade é importante e reflete diretamente neles. Embora os autores tenham utilizado outras técnicas para análise de dados, nós optamos por fazê-la pela troca de mensagens realizada entre os próprios sensores.

Observando a Figura 3, retratada no trabalho de Zhang et al (2008), os autores revelam a ideia de agrupar nós da rede que estão em proximidade física, proporcionando uma organização lógica que é menor em escala e, portanto, mais simples de gerenciar. Nosso ambiente de simulação apresenta uma estrutura semelhante para os nós sensores, conforme tópico 4.1.2, desta dissertação, onde também expressamos a intenção de posicionar antenas, denominadas em nosso trabalho de sensor RFID Base, e que detectam o movimento das pessoas. Essas antenas estão organizadas em grupos de quatro, de acordo com as suas proximidades, ligadas a um sensor central que recebe os dados das antenas de seu grupo para que sejam processados. Os autores utilizam uma arquitetura de comunicação baseada em *clustering* que detectam mensagens contendo erros e evitam que elas sejam veiculadas pela rede. Segundo eles, essa ação economiza energia dos sensores, aumentando a autonomia da rede. Em nosso trabalho, como simulamos implantação de uma RSSF, organizamos os sensores em grupos de quatro que definem o ambiente em regiões. No entanto, a ideia da comunicação e a troca de mensagens que ocorre entre sensores são utilizadas com o intuito de analisar as quantidades detectadas de pessoas nas

regiões, por unidade de tempo, e estimar qual será a quantidade de pessoas para outra região, em um tempo futuro.

Figura 3. Ilustração do fluxo de dados em uma rede em cluster



O trabalho de Sun et al (2009) usa um método de localização que se propõe a estimar as trajetórias de movimento (posição, velocidade e direção) de pedestres ou ciclistas e evitar o choque com veículos, em cruzamentos de ruas. Mesmo que não seja nosso propósito estimar especificamente trajetórias, é relevante dizer que o método é aplicado para pedestres que estão devidamente equipados com pequenos dispositivos e que se aproximam de cruzamentos de ruas. Essa ideia é semelhante a nossa, embora o dispositivo seja diferente. Periodicamente, os dispositivos que eles utilizam emitem sinais de rádio captados por estações âncora localizadas à beira da rua. A estimativa da posição de cada pedestre é dada aplicando-se o método estatístico da Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood Estimation* - MLE) sobre a intensidade do sinal recebido em cada âncora. O teorema probabilístico de Bayes é utilizado para que sejam obtidas trajetórias mais precisas de pedestres e com erros de estimativa reduzidos. Em nosso trabalho, utilizamos outra técnica para estimar a formação de grupos de pessoas, dotadas com tipos de movimentos diferentes, e fazê-las deslocar-se até um alvo específico. Diferente de Sun et al (2009), que optou por não utilizar o método de estimativa por meio de RFID devido ao alto custo de implantação, dentre outros, nossa escolha foi de simular a implantação de uma RSSF, onde pressupomos que as pessoas portam etiquetas RFID e seus dados são veiculados pela rede. Assim, a quantidade de pessoas que se deslocam em direção ao alvo é contabilizada periodicamente, até que se consiga prever quantas pessoas estarão em um

ponto e quando. A eficiência do algoritmo de previsão por comunicação entre sensores pode ser comprovada pela inexistência de custos para montar a estrutura desse projeto e, considerando os resultados obtidos.

Preocupados com a alta taxa de mortalidade de pessoas envolvidas em acidentes de trânsito, é que Elliot et al (2012) indicam a simulação e modelagem para prevenir ou reduzir as colisões envolvendo veículos e pedestres. Segundo eles, para conseguir esse efeito são utilizados modelos físicos ou computacionais, mas que devem ser somados à compreensão dos eventos que causam as colisões, por exemplo, o deslocamento de um pedestre. Encontramos nesta e em outras obras, como no manual do DNIT (2010), testes e simulações envolvendo velocidade de pedestres, que contribuíram para a definição da velocidade de cada pessoa em nossos cenários.

4 Modelagem e Simulação do Deslocamento de Pessoas

A proposta deste trabalho é um estudo sobre como utilizar sensores para monitorar objetos em movimento, tendo uma *Rede de Sensores sem Fio* (RSSF) com protocolo ZigBee [GTA, 2010], como meio no qual a pesquisa deverá ocorrer.

Particularmente, o estudo retrata a modelagem e simulação do deslocamento de pessoas e está baseada na previsão de formação de grupos que se deslocam em um ambiente público real, de acordo com um determinado grau de antecipação. A proposta é prever, com antecedência, a direção do referido deslocamento, assim como o número de pessoas que provavelmente formarão aquele grupo, em um tempo futuro.

O tempo de previsão e o local aproximado onde a multidão deverá formar-se, como em uma determinada região de um estádio de futebol em dias de jogos, torna-se importante para este trabalho, dada a possibilidade de ações de segurança que podem ajudar na prevenção de incidentes envolvendo o próprio público presente. Esse tempo ganho pode ser suficiente para que decisões sejam tomadas, por exemplo, no deslocamento de mais funcionários para ajudar a orientar as pessoas em determinado portão do estádio, uma vez que uma área com muitas pessoas pode tornar-se desconfortável.

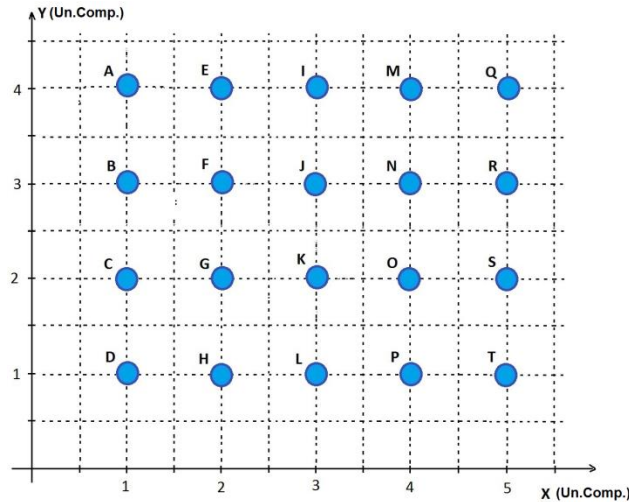
O uso de sensores que possam monitorar o movimento das pessoas e que atuem na organização deste deslocamento, ajudando na prevenção de acidentes, são benefícios que impulsionam esse trabalho. Ações como a redistribuição do reforço de segurança para locais que tenham real necessidade de um efetivo humano maior, ou a própria prevenção do acúmulo de pessoas em locais já muito disputados que possam acarretar em tragédias, como esmagamento ou danos mais graves, denotam que investir em prevenção é melhor do que em ações após as catástrofes.

4.1 Modelagem dos Componentes

Para que o ambiente de simulação tenha suas características mais aproximadas do ambiente real, descrevemos um modelo de posicionamento dos sensores que captarão os movimentos das pessoas, como o que está descrito na Figura 6. O modelo apresenta a disposição dos sensores exatamente sobre as coordenadas de um plano cartesiano. Por exemplo, o Sensor N está localizado na coordenada cartesiana (4, 3). Essa topologia foi

escolhida para validar a solução proposta para o cálculo das distâncias percorridas pelos objetos. A posição de cada sensor é conhecida e a distância entre cada coordenada x ou y é de uma (01) unidade de comprimento (essa medida será melhor detalhada no transcorrer deste capítulo e de acordo com suas respectivas especificações).

Figura 4. Exemplo de topologia para a RSSF

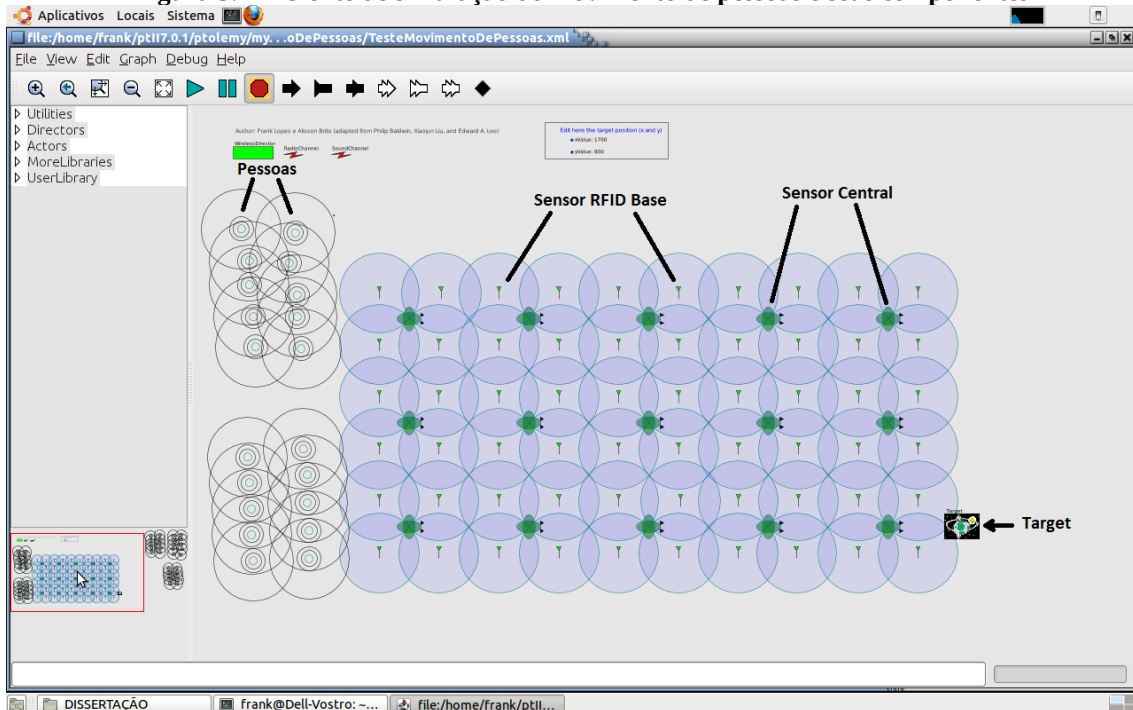


No ambiente de simulação do Ptolemy II, partimos do pressuposto de que um objeto é uma pessoa em movimento. Para construirmos esse ambiente no simulador, utilizamos estruturas próprias que ele dispõe em sua área de trabalho, como diretores (*Directors*), atores (*Actors*) e seus parâmetros. Dessa forma, representamos sensores RFID Base, os sensores centrais, o alvo (*Target*) e as pessoas (Figura 7).

O ambiente inicial de nossa simulação estruturada no Ptolemy II, tem como base o projeto dos pesquisadores [Baldwin et al] e os atores aqui apresentados foram desenvolvidos pela própria equipe do Ptolemy II, adaptados para o contexto desse projeto.

Cada pessoa é composta de quatro círculos concêntricos e sem cor de preenchimento, onde cada uma delas possui parâmetros individuais, de acordo com os atores do Ptolemy II utilizados na definição do objeto pessoa.

Figura 5. Ambiente de simulação do movimento de pessoas e seus componentes



Esses parâmetros são características configuráveis (Figura 8), como por exemplo, o *idPeople* que identifica a pessoa com um número inteiro, o *speed* que define a velocidade de deslocamento de uma pessoa, o *movimentType* que define o tipo de movimento de uma pessoa ao longo da simulação e, por fim, o *xTarget* e o *yTarget* que definem, através de variáveis (*xValue* e *yValue*), qual a posição cartesiana do alvo (*Target*). As variáveis utilizadas no simulador, conforme Figura 9, são definidas no algoritmo responsável pela locomoção da pessoa, orientando-a em direção ao alvo. O deslocamento de cada pessoa pode atingir ou não o alvo, dependendo do tempo de simulação estabelecido.

Figura 6. Edição dos parâmetros idPeople, speed e movimentType

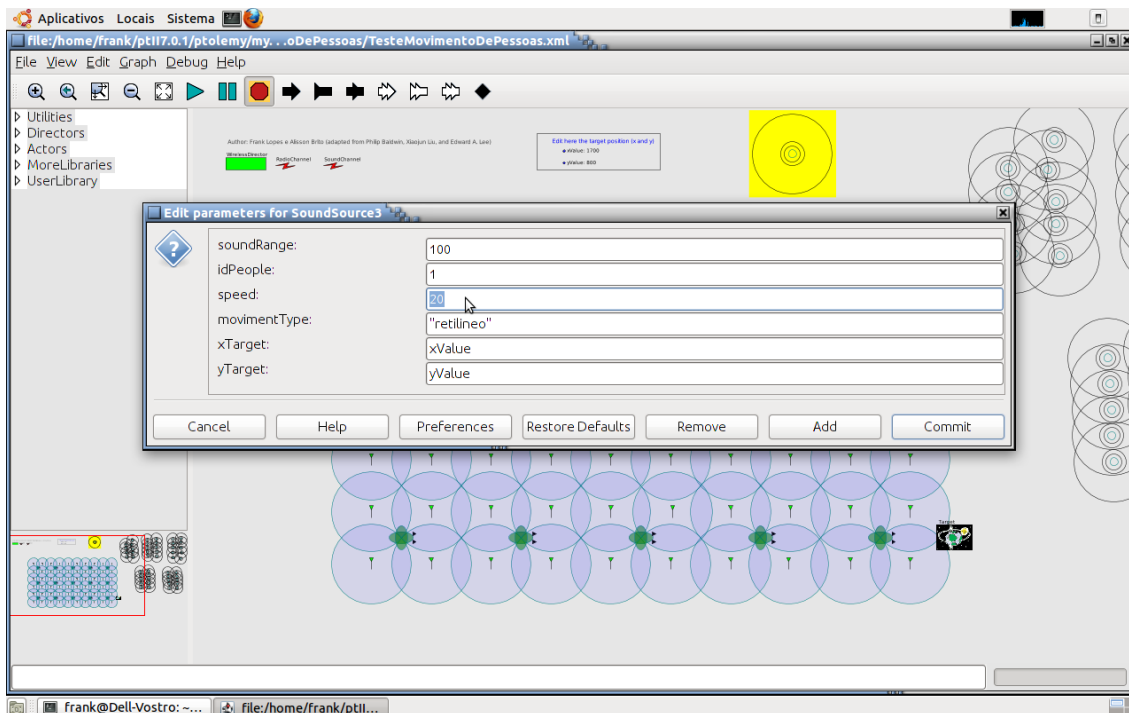
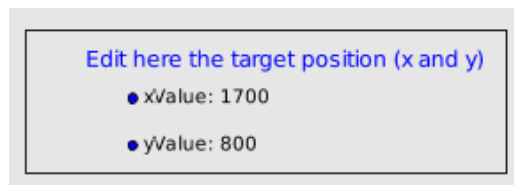


Figura 7. Edição da coordenada (x, y) do Target



Uma pessoa é um ator composto, possuindo outros atores internamente, como o *Expression*, renomeado em nosso trabalho para “MovimentoPessoa” (Figura 10). Este ator possui um parâmetro configurável denominado *expression* (mesmo nome do ator), conforme Figura 11, que define a posição cartesiana inicial de uma pessoa na simulação. A expressão inserida nele é um par ordenado do tipo (x, y) , de onde cada pessoa inicia seu movimento. Encerrada a simulação, cada pessoa estará com um novo par ordenado (x, y) que representa a sua posição final.

Figura 8. Atores que definem uma pessoa

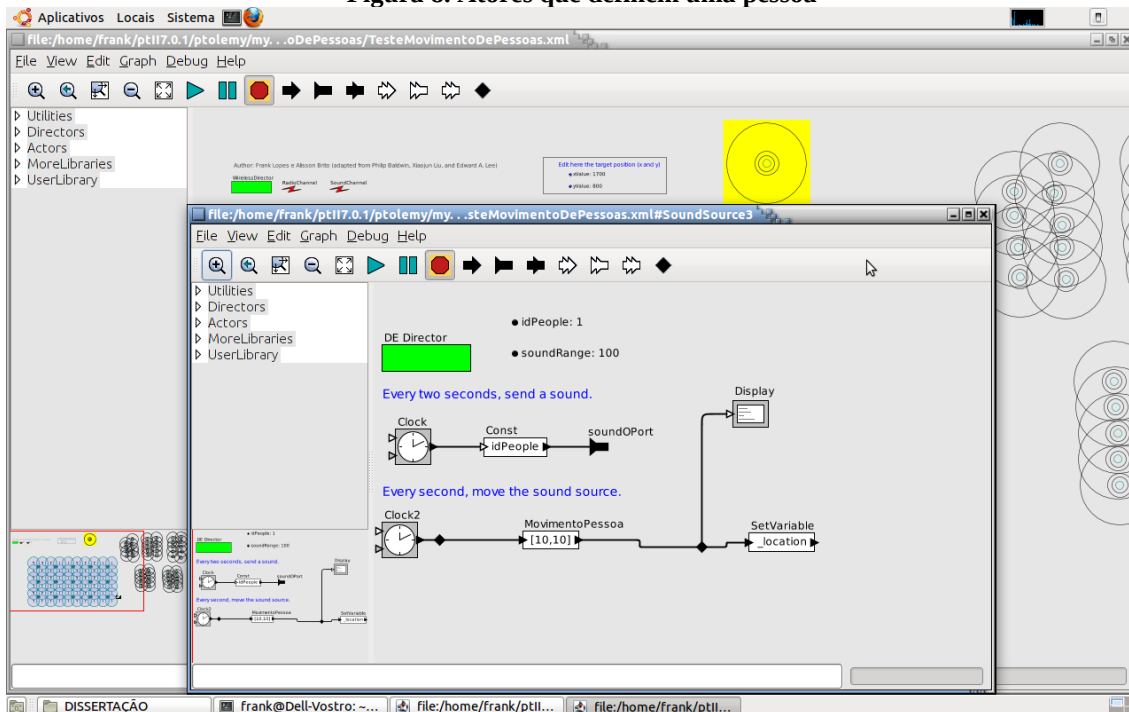
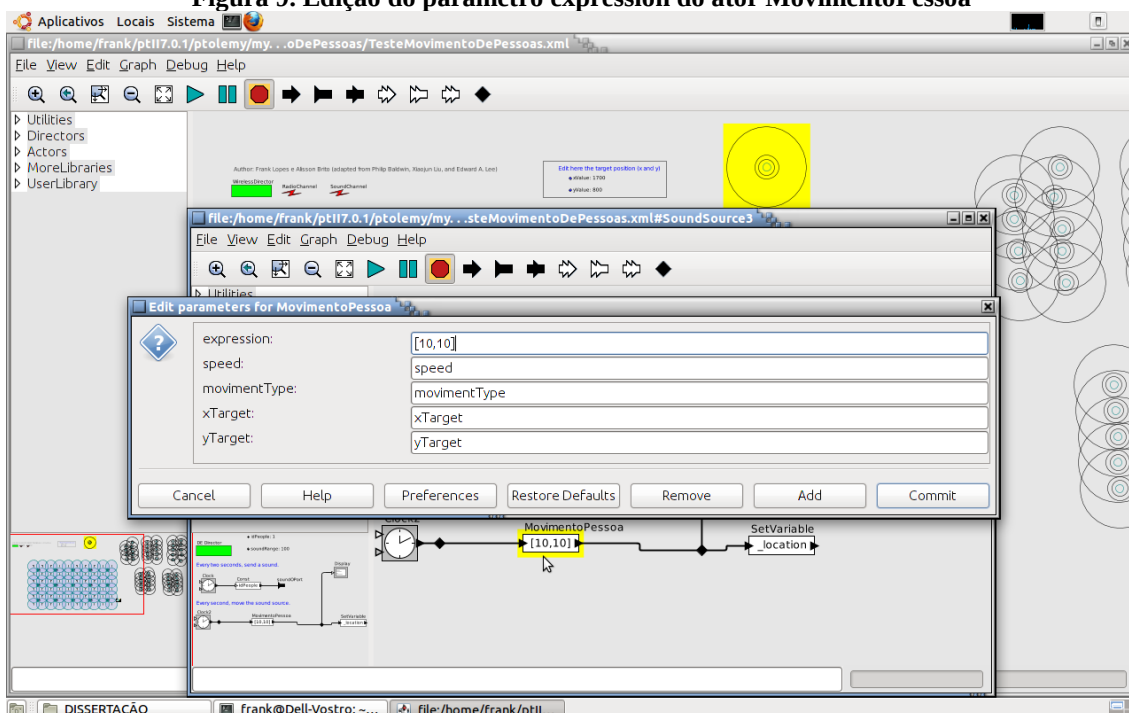


Figura 9. Edição do parâmetro expression do ator MovimentoPessoa



O tipo de movimento de cada pessoa é configurado no parâmetro *movimentType*, cuja escolha está entre três opções de movimento: retilíneo (*retilineo*), hiperbólico (*hiperbolico*) ou parabólico (*parabolico*), conforme Figura 12. O tipo de movimento foi

denominado de acordo com a forma do deslocamento das pessoas ao longo da simulação. Assim, os movimentos dos atores são chamados de retilíneos quando seu deslocamento é em linha reta, chamados de hiperbólicos quando seu deslocamento é mais rápido no eixo “x” do que no eixo “y” ou chamados de parabólicos quando seu deslocamento é mais rápido no eixo “y” do que no eixo “x”. Os três tipos de movimento (Figura 13) têm a finalidade de aproximar-se ainda mais do comportamento real do deslocamento de pessoas.

Figura 4. Edição do parâmetro movimentType

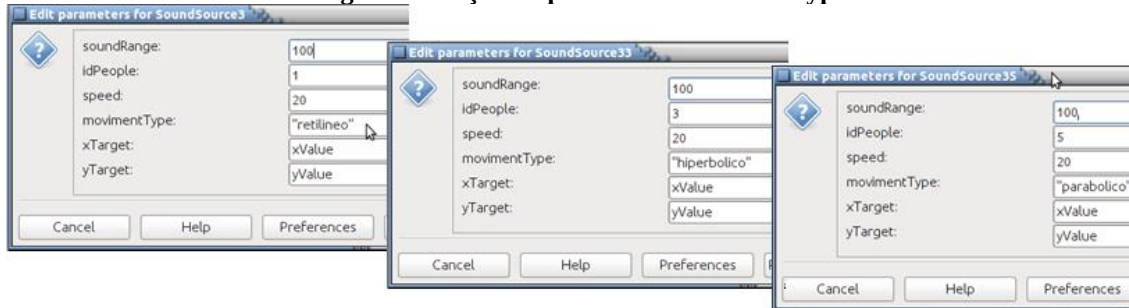
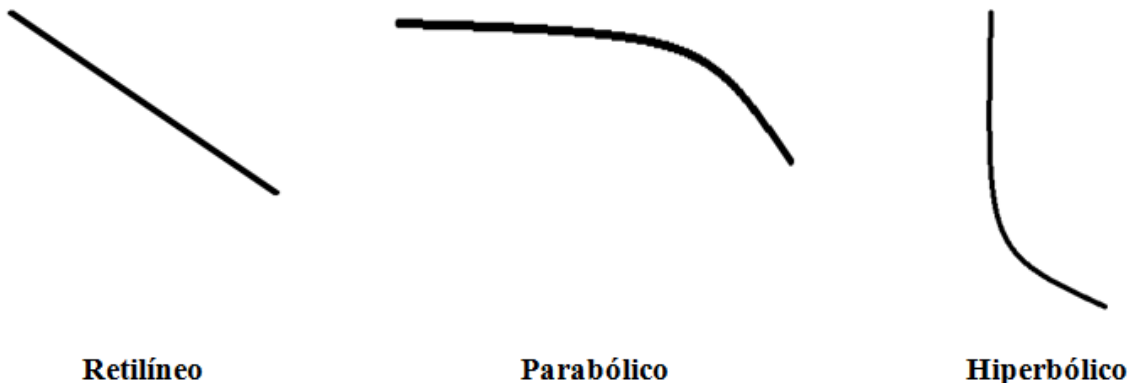


Figura 5. Esboço dos tipos de movimento



Cada ator pessoa possui também os atores *Clock* e *Clock2* com outros parâmetros configuráveis, cuja finalidade de ambos é produzir eventos a cada unidade de tempo. O primeiro gera eventos que enviam o *idPeople* para impressão na tela e o segundo gera eventos para o deslocamento da pessoa. Por exemplo, a pessoa identificada como *idPeople 1*, na Figura 14, tem no parâmetro *period* um valor igual a 1.1. Então, de acordo com a posição cartesiana inicial que o *expression* determina para uma pessoa e a sua velocidade (*speed*) de deslocamento, ela muda de posição de acordo com essa velocidade e o tipo de movimento (retilíneo, hiperbólico ou parabólico) cada vez que o relógio (*Clock*) passar 1.1 unidades de tempo. Este evento perdurará até que o alvo (*Target*), determinado na

simulação, seja atingido ou até que o tempo de simulação total estabelecido seja esgotado. O tempo total da simulação é definido no componente *WirelessDirector*, através da configuração dos parâmetros que definem o início e o final da mesma, respectivamente, o *startTime* e o *stopTime*, conforme Figura 15.

Figura 6. Parâmetros do Clock

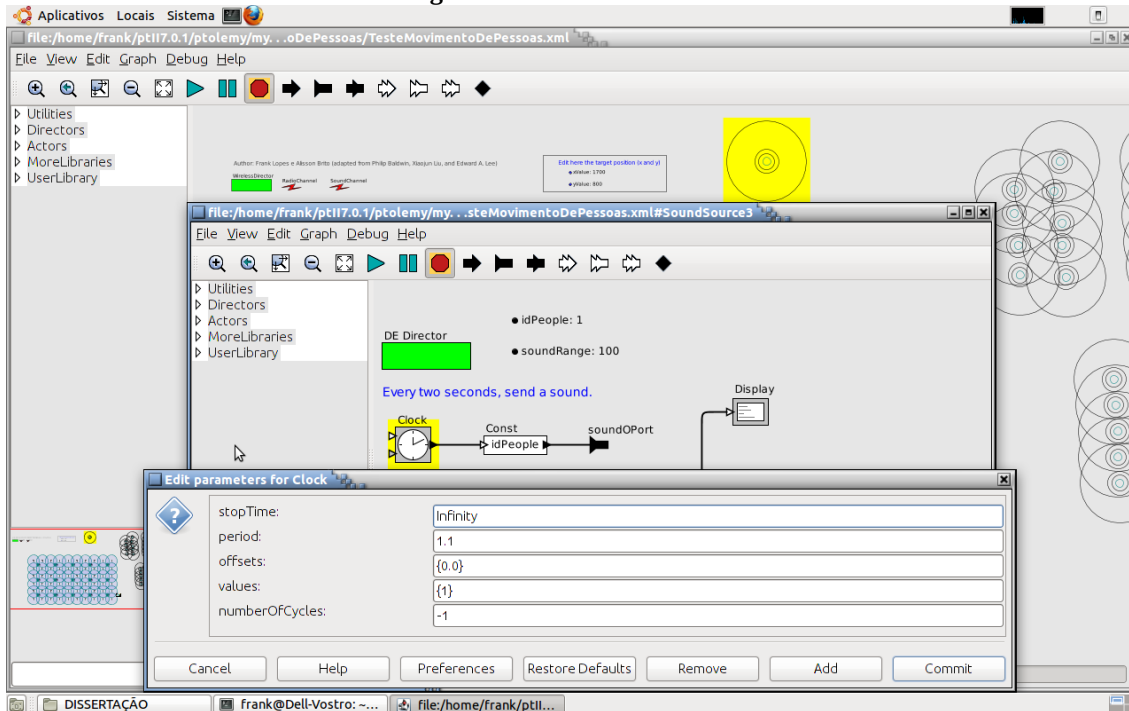
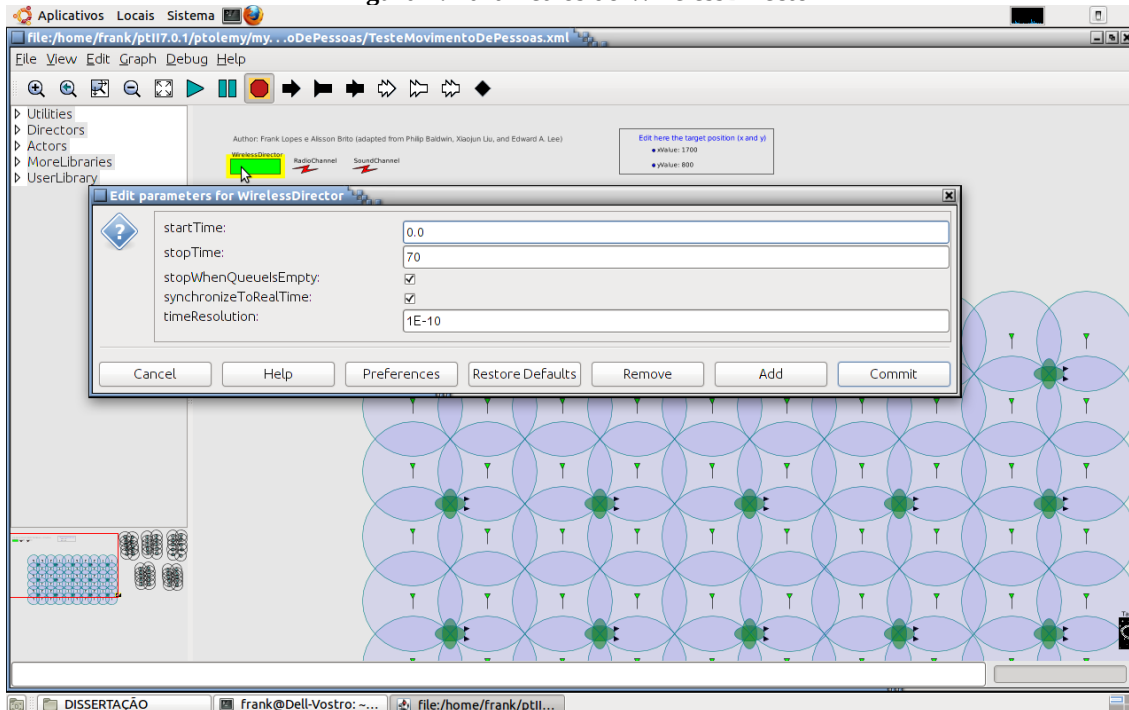


Figura 7. Parâmetros do WirelessDirector

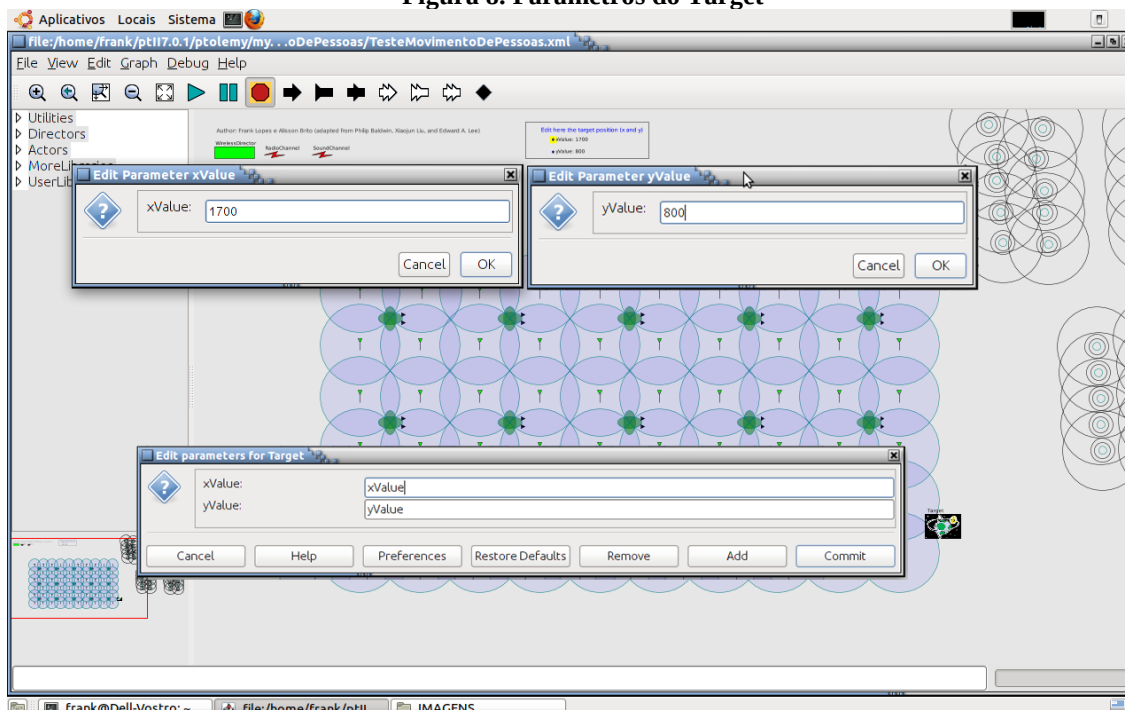


O *Target* inserido no ambiente simulado representa um alvo no qual as pessoas deslocam-se com o objetivo de atingi-lo. Esse alvo, no ambiente real, pode ser qualquer ponto vislumbrado pelas pessoas no ambiente em que elas estejam transitando, por exemplo, um portão de acesso. Para alcançar esse objetivo, tanto no simulador (Figura 16) como no algoritmo, o *Target* possui dois parâmetros de configuração, *xValue* e *yValue*, que definem sua localização cartesiana *x* e *y*, respectivamente. Como cada pessoa também possui os parâmetros *xValue* e *yValue* em suas configurações, ao executar a simulação, cada uma delas passa a movimentar-se buscando atingir aquele alvo, de acordo com os parâmetros estipulados.

Tanto o parâmetro *xValue*, como o *yValue*, são configuráveis e podem ter seus valores modificados no próprio simulador, dependendo do cenário. Portanto, em uma nova simulação o *Target* pode mudar sua localização facilmente.

Por exemplo, a pessoa cuja identificação (*idPeople*) é 1, possui velocidade (*speed*) 20, tipo de movimento (*movementType*) retilíneo (os três parâmetros na Figura 8), sua posição inicial (Figura 10) está configurada para a coordenada cartesiana (10, 10) e seu objetivo é atingir o alvo (*Target*) que está na coordenada (1700, 800), conforme retângulo da Figura 9.

Figura 8. Parâmetros do Target



O ambiente simulado possui ainda um componente circular translúcido e com uma antena no centro que representa um sensor RFID Base, bem como outro componente contendo duas elipses verdes sobrepostas e que representam os sensores centrais, conforme já apresentado na Figura 7.

Para que os dados sejam coletados partimos do pressuposto de que cada objeto pessoa possui um transmissor de rádio. Neste caso, o transmissor é uma etiqueta RFID (*Radio Frequency Identification*) acoplada ao corpo da pessoa. As etiquetas emitem esse sinal de rádio frequência e, com a movimentação das pessoas pela área de cobertura da RSSF, são detectadas pelos sensores RFID Base, se a pessoa entrar em seu raio de cobertura. A Figura 17 apresenta a distribuição dos sensores RFID Base em posições fixas de acordo com coordenadas cartesianas. Sua identificação é através de um nome e um valor numérico, por exemplo, Sensor 33. Um grupo de quatro sensores RFID Base está ligado a um sensor central. Os sensores 23, 24, 33 e 34, por exemplo, estão ligados diretamente ao sensor central R7. A comunicação entre os sensores centrais é feita segundo as recomendações do protocolo *ZigBee* (conforme Capítulo 2). Cada sensor central está ligado a outros oito sensores centrais próximos a ele e identificados como vizinho do norte, do sul, do leste, do oeste, do noroeste, do nordeste, do sudoeste e do sudeste. Cada sensor central representa uma das quinze regiões (R1 a R15) em que foi distribuída a RSSF e,

Figura 9. Distribuição dos sensores RFID Base e tráfego dos dados pela RSSF

Diagrama de uma rede de sensores para localização de uma pessoa com etiqueta RFID. A rede é composta por 14 roteadores (R1 a R14) e 8 sensores (Sensor 23 a Sensor 36). Os roteadores estão dispostos em uma malha hexagonal. Os sensores estão localizados no centro de cada hexágono da malha. A pessoa com a etiqueta RFID está localizada no centro da rede, entre os roteadores R7 e R8. As setas indicam a comunicação entre os roteadores e os sensores, e entre os roteadores e a pessoa.

41

Figura 10. Regiões e distância entre sensores

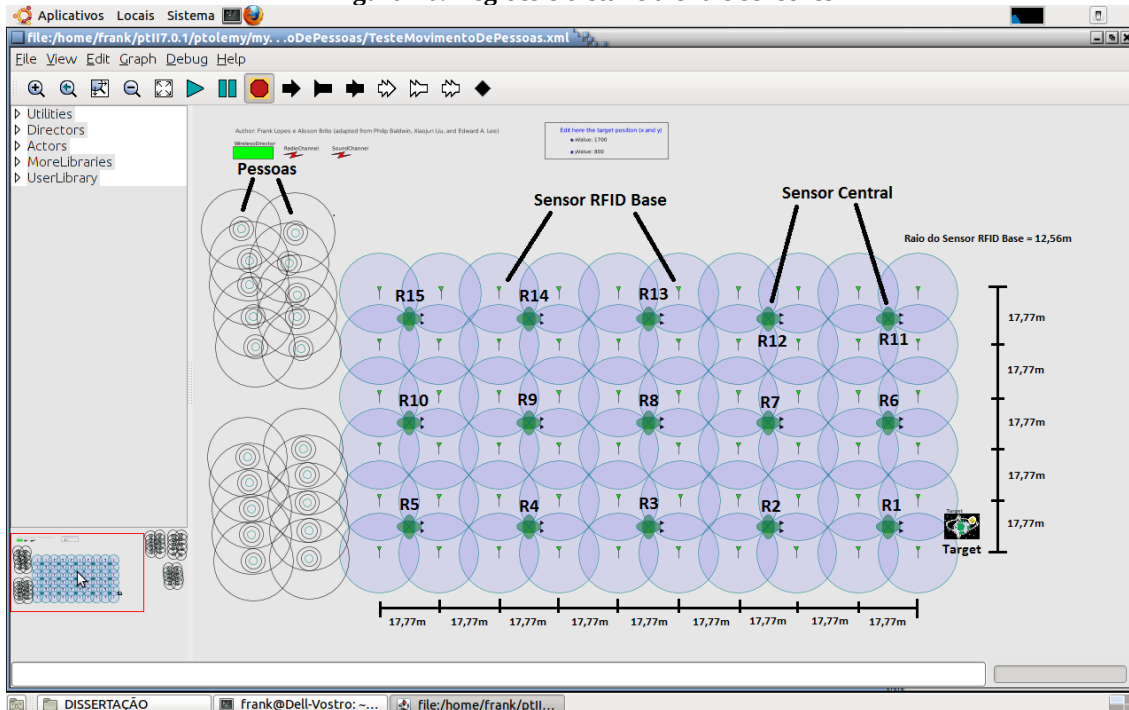


Tabela 2. Distribuição dos sensores RFID Base por região

REGIÃO	SENSORES
R1	1, 2, 11,12
R2	3, 4, 13, 14
R3	5, 6, 15, 16
R4	7, 8, 17, 18
R5	9, 10, 19, 20
R6	21, 22, 31, 32
R7	23, 24, 33, 34
R8	25, 26, 35, 36
R9	27, 28, 37, 38
R10	29, 30, 39, 40
R11	41, 42, 51, 52
R12	43, 44, 53, 54
R13	45, 46, 55, 56

R14	47, 48, 57, 58
R15	49, 50, 59, 60

Como cenário para o local de distribuição dos sensores que compõem a RSSF deste trabalho foi utilizado o pátio de acesso ao Estádio do Engenhão, cidade do Rio de Janeiro, como referência. Para dispor dos dados reais relativos a esse local, foi utilizado o aplicativo Google Earth [Google Earth, 2012]. Usando a ferramenta “Régua” do referido aplicativo, foi calculada a distância estabelecida entre os sensores RFID Base, conforme Figura 19. Assim, as dimensões comprimento e largura que definem os limites de localização da RSSF são, respectivamente, 160,06 metros e 88,86 metros.

Respeitando as recomendações relativas às distâncias entre os sensores de uma RSSF com protocolo ZigBee [GTA, 2010], alocou-se 10 (dez) sensores RFID Base na linha do comprimento encontrado e 6 (seis) na linha da largura. Dessa forma, a rede completa possui 60 sensores. Dividindo o comprimento de 160,06 metros por nove espaços que existem do primeiro ao último sensor, tem-se 17,7 metros. Na largura, os sensores também mantêm uma mesma distância, já que o cálculo é semelhante. Ou seja, dividindo a largura de 88,86 metros por cinco espaços existentes entre o primeiro e o último sensor, tem-se 17,7 metros. Portanto, o retângulo pontilhado à esquerda na Figura 19 representa uma área de 14.222,93 metros quadrados, em que está distribuída a RSSF.

Figura 11. Área de localização da RSSF



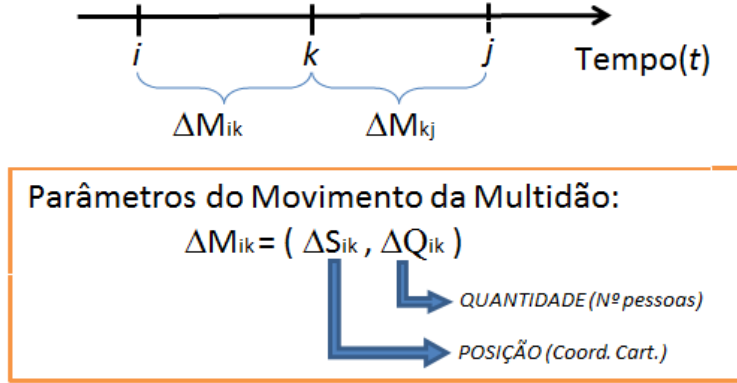
No mundo real o movimento de pessoas, dependendo das circunstâncias, pode resultar em aglomerações. Esse trabalho estuda, em ambiente simulado, a possibilidade de detectar com antecipação a formação de uma multidão, através da análise do deslocamento de grupos de pessoas. O deslocamento de uma multidão é formalizado e caracterizado através dos parâmetros Duração (diferença de tempo entre os instantes de início e fim do movimento) e Quantidade (número de pessoas). No entanto, inserimos o parâmetro Posição, para que, junto à Quantidade seja formalizada a previsão da formação de multidão em determinado local do ambiente simulado.

O deslocamento da multidão é representado pela função movimento. Esta é caracterizada por um par de valores definidos em função do tempo (t) e expressa por $M(t) = (S(t), Q(t))$, em que $M(t)$ é a função movimento representada pela sua Posição $S(t)$ e Quantidade $Q(t)$. Para demonstrar essa função em relação ao tempo, tem-se i , k , e j , que representam, respectivamente, o tempo passado, presente e futuro, apresentados na Figura 20. Se for adotado que as pessoas se deslocam em Movimento Uniforme (sem aceleração), será possível extrair a variação do movimento no intervalo de tempo entre i e k , sendo $k > i$, como sendo: $\Delta M_{i,k} = M(k) - M(i)$. Então, observando os intervalos de tempo entre i e k , essa variação pode ser calculada de acordo com a Equação 1:

$$\Delta M_{i,k} = (\Delta S_{i,k}, \Delta Q_{i,k}) \begin{cases} \Delta S_{i,k} = S(k) - S(i) \\ \Delta Q_{i,k} = Q(k) - Q(i) \end{cases} \quad (1)$$

Portanto, a variação das características do movimento de um grupo de pessoas pode ser determinada pela diferença entre a sua *posição final* e *inicial* e pela diferença entre a sua *quantidade final* e *inicial* de pessoas envolvidas.

Figura 18. Definição dos parâmetros do Movimento da Multidão



O problema que este projeto busca responder é: haverá, no alvo, aglomeração de um determinado grupo de pessoas no instante futuro “j”? A hipótese adotada é que a variação do movimento entre k e j tende a permanecer com o mesmo comportamento que teve entre i e k, ou seja, assume-se que $\Delta M_{i,k} \cong \Delta M_{k,j}$.

Sendo assim, a partir de $\Delta M_{k,j} = M(j) - M(k)$ define-se que a multidão no instante futuro “j” será (1): $M(j) = \Delta M_{k,j} + M(k)$. Sendo (2): $\Delta M_{k,j} \cong \Delta M_{i,k}$ e substituindo-se (2) em (1), pode-se assumir que a multidão em j será $M(j) \cong \Delta M_{i,k} + M(k)$.

A acurácia dessa previsão vai depender de quão próximo $\Delta M_{i,k}$ é de $\Delta M_{k,j}$. Para tanto, faz-se necessário reduzir o período de tempo em que as amostras de movimento são coletadas. Por outro lado, isso aumentará a quantidade de dados processados pelos sensores e, por consequência, o consumo de energia dos mesmos, além de seu custo final.

Como $\Delta M_{i,k}$ é uma referência a um acontecimento no tempo passado (i), seus valores são utilizados para prever no tempo futuro (j) a formação de multidão em determinado local. Assim, calculado o valor de $M(j)$, tem-se a previsão das características do movimento no instante j, mais especificamente sua *posição* e *quantidade* de pessoas envolvidas no cálculo. Sabendo-se que o algoritmo já calculou os tempos anteriores a “j” e extraiu os valores de $M(i)$ e de $M(k)$, entende-se que ele já terá condição de avaliar o

deslocamento dessas pessoas. Dessa forma, esse algoritmo faz uma previsão de formação de um aglomerado de pessoas em determinada posição do ambiente, através da análise de dados enviados pelos sensores em que as pessoas foram detectadas.

De posse dessa análise e de acordo com a necessidade, alarmes (ou mensagens) são disparados orientando, com um tempo de antecedência aceitável, regiões (ou usuários) em que, provavelmente, a multidão irá formar-se. Assim, haverá tempo hábil para que sejam tomadas medidas apropriadas de ajuste e preparação para determinado evento.

4.2 Algoritmo para Estimativa de Formação de Grupos

Este tópico destina-se a descrever como o algoritmo de troca de mensagens desenvolvido atua na detecção de aglomeração de pessoas, dentro do ambiente simulado.

Qualquer sensor central da RSSF simulado conhece cada um de seus sensores vizinhos. No algoritmo que estima a formação de grupos, um sensor RFID Base é denominado de “ s_i ”. Ao conjunto dos sensores vizinhos a “ s_i ” dá-se o nome de:

$$V_i = \{s_n, s_s, s_l, s_o, s_{no}, s_{nl}, s_{so} \text{ e } s_{sl}\}$$

Sendo eles, respectivamente, os vizinhos do norte, do sul, do leste, do oeste, do noroeste, do nordeste, do sudoeste ou do sudeste.

Para que a troca de mensagens entre vizinhos seja realizada, existem três tipos de mensagens pontuais que podem ser enviadas por um sensor:

- Notify (s, t_n, n, id)
- Alert (s_d, t_p, n)
- Alarm (t, n)

4.2.1 Mensagens Notify (s, t_n, n, id)

Uma mensagem contendo um “Notify” é enviada por um sensor a todos os seus vizinhos sempre que ele detecta uma variação para mais na quantidade de pessoas em sua área de cobertura.

Os parâmetros especificados na mensagem informam qual foi o sensor “s” que originou a mensagem, o momento “ t_n ” em que a variação foi detectada, a quantidade “n” da variação de pessoas e a identificação “id” de cada pessoa que foi detectada naquele instante. O “id” é um parâmetro utilizado para que cada sensor realize uma checagem e eliminação das pessoas que são contabilizadas repetidamente, em um tempo de execução específico. Esse fato ajusta o algoritmo para que ele não conte mais de uma vez a mesma pessoa, em um mesmo tempo.

Por outro lado, os vizinhos que recebem um “Notify”, armazenam essa mensagem, até que seja enviado para ele um “Alert”, em um momento seguinte.

4.2.2 Mensagens Alert (s_d, t_p, n)

Caso um sensor detecte uma variação de pessoas para mais na sua região e ele tenha armazenado uma “Notify” anteriormente de um vizinho, uma mensagem “Alert” será enviada por ele. Este tipo de mensagem indica alerta de movimentação de pessoas numa determinada direção e sentido.

A mensagem enviada será apenas para um sensor, denominado de destinatário e definido como “ s_d ”. Conterá também a quantidade estimada “n” de pessoas em movimentação e o provável instante “ t_p ” em que essa quantidade alcançará seu vizinho.

Caso o sensor originário da mensagem “Notify” seja:

s_n , então $s_d = s_s$

s_s , então $s_d = s_n$

s_l , então $s_d = s_o$

s_o , então $s_d = s_l$

s_{no} , então $s_d = s_{sl}$

s_{nl} , então $s_d = s_{so}$

s_{so} , então $s_d = s_{nl}$

s_{sl} , então $s_d = s_{no}$.

Uma mensagem “Alert” deve ser propagada pelo sensor destinatário, e no mesmo instante, a todos os sensores vizinhos que estiverem na mesma direção. Dessa forma, a mensagem tem o tempo de previsão atualizado, incrementando-se uma janela de tempo a cada sensor que receber o “Alert” propagado.

A quantidade de pessoas “n” será dada pela variação de pessoas na sua área (e não no que determina a mensagem “Notify” armazenada). O tempo “ t_p ” será definido pelo tempo atual (t_a), mais a diferença entre “ t_a ” e o tempo indicado na mensagem “Notify” (t_n), conforme Equação 2.

$$t_p = t_a + (t_a - t_n) \quad (2)$$

As pessoas que receberem uma mensagem do tipo “Alert” vão armazená-la e repassá-la para seu vizinho “ s_d ”, seguindo a mesma lógica do sentido inverso ao da mensagem recebida.

4.2.3 Mensagens Alarm (t, n)

Essa mensagem será utilizada para indicar que, num determinado instante, haverá uma aglomeração de pessoas numa determinada região. A formação de uma aglomeração na área de um sensor ocorrerá num determinado instante “t”, se a soma de todas as quantidades de pessoas previstas nas mensagens “Alert” recebidas por ele e para esse mesmo instante “t”, for maior ou igual ao limite determinado para se definir uma aglomeração.

4.2.4 Troca de mensagens

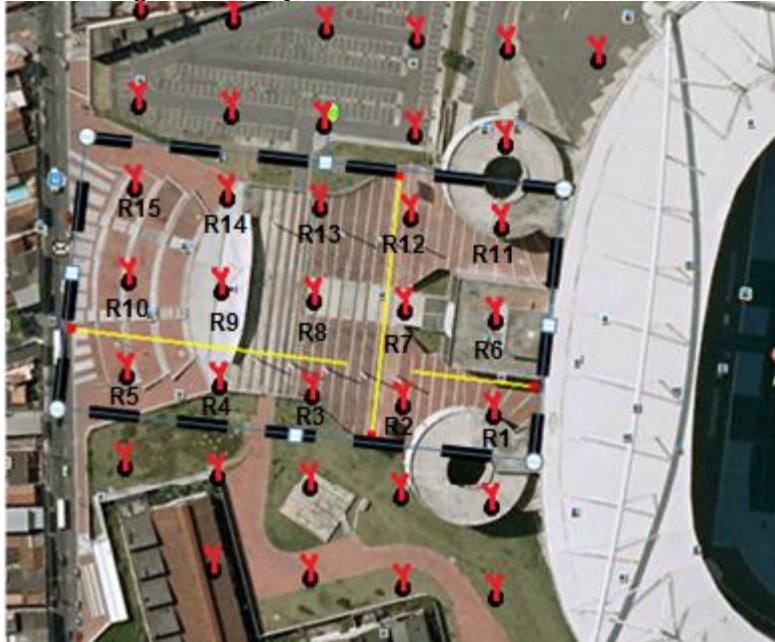
A seguir, será apresentado um exemplo da execução do algoritmo para o processamento dos dados coletados pelos sensores. O exemplo trata de uma simulação envolvendo um grupo de pessoas que chega ao Estádio Engenhão – RJ e que passa pela área de cobertura da RSSF, conforme Figura 19, apresentada no Capítulo 4. Em dias de evento, as pessoas chegam ao estádio a partir de vários acessos e um deles (lateral esquerda) está representado pelas setas da Figura 21. O objetivo dessas pessoas que transitam por esta área, normalmente, é chegar ao portão de acesso do estádio, conforme indicação na mesma figura.

Figura 19. Caminho de acesso das pessoas ao Engenhão



A topologia da RSSF no Estádio do Engenhão apresentada no Capítulo 4, bem como o retângulo que delimita sua área de abrangência sugere a divisão dessa área em quinze regiões, denominadas de R1 a R15, conforme Figura 22. A região R1 faz a cobertura do portão de entrada ao estádio.

Figura 12. Posições dos sensores centrais R1 a R15



Cada uma dessas regiões possui um sensor central que recebe dados dos quatro sensores RFID Base em seu derredor. Esses dados são processados pelo algoritmo que estima a formação de grupos de pessoas em determinado momento. O exemplo e os cenários do estudo de caso (Capítulo 6) são executados em janelas de tempo com variação de 5 em 5 unidades, por exemplo, $t(5)$, $t(10)$, $t(15)$ e assim sucessivamente. Vale salientar, que essa variação poderia ser testada com quaisquer outros valores. As etapas de execução do algoritmo ocorrem de acordo com o exemplo descrito abaixo:

No primeiro instante registrado pelo algoritmo, tempo $t(5)$ (equivalente ao intervalo de tempo de 0 a 5), os sensores R15, R14, R10 e R5 detectam pessoas em sua área e registram as variações de quantidade de pessoa, pressupondo que cada sensor estava inicialmente com sua memória limpa. Por exemplo, R5 detecta quatro pessoas em sua região, então a variação foi 4 pessoas ($4 - 0$).

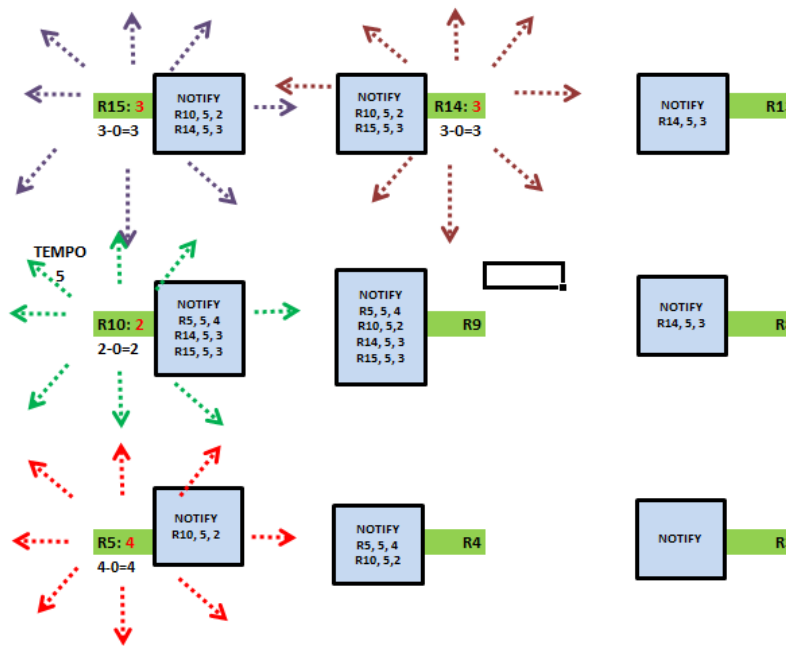
Continuando com o sensor R5 como exemplo, que agora tem 4 pessoas detectadas, ele monta a mensagem *Notify* (R5, 5, 4), baseado nos dados da Tabela 3, e envia para seus oito vizinhos, conforme as setas da Figura 23. Observando a Figura 22, vale lembrar que o sensor R5 tem três vizinhos chamados de R10, R9 e R4, um vizinho a sudeste, um vizinho ao sul e, por estar ao final da área de cobertura da RSSF, sem vizinhança a sudoeste, oeste e noroeste.

Tabela 3. Dados coletados e processados no tempo $t(5)$

TEMPO	SENSOR	VAR	NOTIFY ARMAZENADO	NOTIFY ENVIADO	ALERT	DESTINO DO ALERT
5	R15	3-0=3	-	R15, 5, 3	-	-
	R10	2-0=2	-	R10, 5, 2	-	-
	R5	4-0=4	-	R5, 5, 4	-	-
	R14	3-0=3	-	R14, 5, 3	-	-

Cada um dos sensores centrais armazena a mensagem recebida em sua memória, conforme caixas azuis da Figura 23. Da mesma forma, os sensores R15, R14 e R10, também detectam a variação da quantidade de pessoas em suas regiões (3, 3 e 2, respectivamente) e também enviam suas mensagens para seus vizinhos, com suas respectivas detecções, conforme indicado pelas setas na Figura 23.

Figura 13. Troca de mensagens entre sensores no tempo t(5)

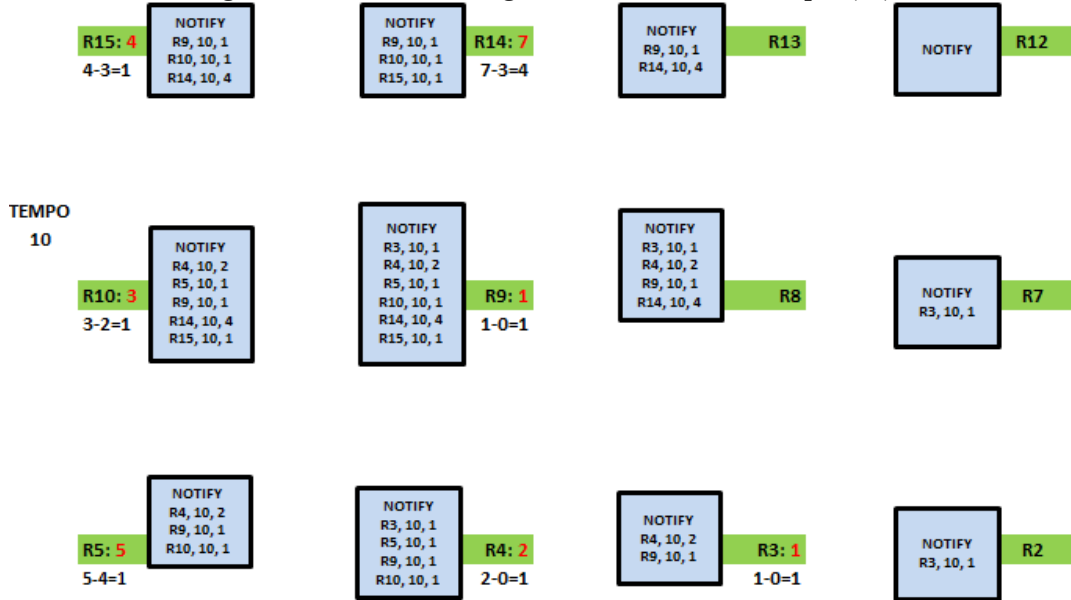


O tempo em seguida é incrementado e passa para t(10), ou seja, intervalo 5 a 10.

Como o sensor R10 foi um dos que recebeu um *Notify* de R5, tomamos esse sensor como exemplo. Em t(10) ele novamente detecta pessoas em sua área e registra essa variação de quantidade. Em t(5), R10 detectou duas pessoas e em t(10) há uma detecção de 3 pessoas, ou seja, houve uma variação de 1 pessoa (3 – 2) a mais em sua região (vide Figura 24). No mesmo instante, R10 envia a mensagem *Notify* (R10, 10, 1) para seus oito vizinhos, conforme Figura 24. Ao mesmo tempo, os demais sensores que detectaram variações no número de pessoas em suas áreas (R15, R14, R9, R5, R4 e R3) também atualizam os dados e enviam novas mensagens *Notify* para seus respectivos vizinhos. Ao

final, todos os sensores possuem em suas memórias locais um conjunto de mensagens *Notify* recebidas, conforme indicam as caixas denominadas NOTIFY da Figura 24.

Figura 14. Troca de mensagens entre sensores no tempo t(10)



O sensor R10, assim como os demais sensores, remove de sua memória cada uma das três mensagens *Notify* recebidas no tempo anterior.

Para cada *Notify* removido, R10 escreve uma mensagem *Alert*, já que para enviar um *Alert* ele precisa, tanto ter detectado variação para mais na quantidade de pessoas em sua área, como também precisa ter *Notify* do tempo anterior armazenado em sua memória. Os demais sensores que atendem a essa condição, em t(10), também escrevem e enviam mensagens *Alert*. A Tabela 4 apresenta os dados processados no tempo t(10).

Tabela 4. Mensagens no tempo t(10)

TEMPO	SENSOR	VAR	NOTIFY ARMazenado	NOTIFY ENVIADO	ALERT	DESTINO DO ALERT
10	R15	4-3=1	R10, 5, 2	R15, 10, 1	R15, 15, 1	NORTE
			R14, 5, 3	R15, 10, 1	R15, 15, 1	OESTE
	R10	3-2=1	R15, 5, 3	R10, 10, 1	R10, 15, 1	R5
			R14, 5, 3	R10, 10, 1	R10, 15, 1	SUDOESTE
			R5, 5, 4	R10, 10, 1	R10, 15, 1	R15
	R5	5-4=1	R10, 5, 2	R5, 10, 1	R5, 15, 1	SUL
			R15, 5, 3	R14, 10, 4	R14, 15, 4	R13,R12,R11
	R14	7-3=4	R10, 5, 2	R14, 10, 4	R14, 15, 4	NORDESTE
			R15, 5, 3	R9, 10, 1	R9, 15, 1	R3
			R10, 5, 2	R9, 10, 1	R9, 15, 1	R8,R7,R6
			R5, 5, 4	R9, 10, 1	R9, 15, 1	R13
	R9	1-0=1	R14, 5, 3	R9, 10, 1	R9, 15, 1	R4
	R4	2-0=2	R10, 5, 2	R4, 10, 2	R4, 15, 2	SUDESTE
			R5, 5, 4	R4, 10, 2	R4, 15, 2	R3,R2,R1

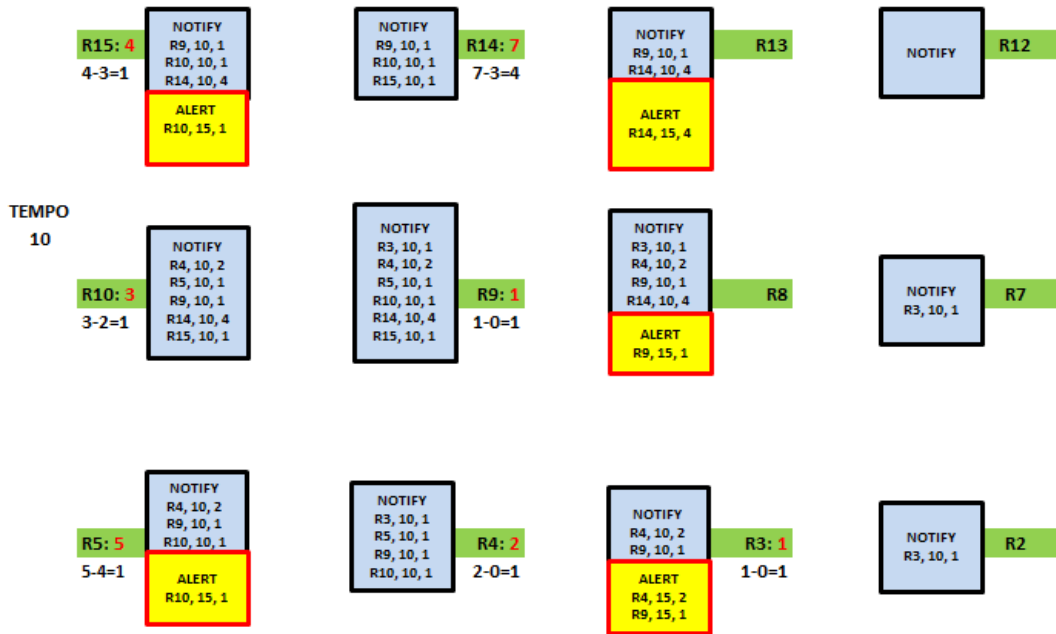
	R3	1-0=1	-	R3, 10, 1	-	-
--	----	-------	---	-----------	---	---

A sintaxe de cada *Alert* é (S_d, t_p, n) e, no exemplo com o sensor R10, é assim escrita em $t(10)$:

- Destinatário (S_d): como as três mensagens *Notify* vieram do norte, do nordeste e do sul, então cada *Alert* é enviado, respectivamente, para os sensores ao sul (R5), ao sudoeste (sensor está fora dos limites da área delimitada no Capítulo 4) e ao norte (R15).
- Tempo de previsão (t_p): usando $t_p = t_a + (t_a - t_n) \Rightarrow t_p = 10 + (10 - 5) \Rightarrow t_p = 15$.
- Quantidade prevista de pessoas (n): como o sensor R10 havia detectado duas pessoas em sua região no tempo anterior $t(5)$, e em $t(10)$ detectou 3 (três) pessoas, então n será calculado pela diferença dessa variação: $n = 3 - 2 = 1$. Para cada mensagem *Notify* que ele havia recebido, há uma mensagem *Alert* que é montada para envio aos sensores destinatários, conforme exemplo na Tabela 3.
- Dessa forma, cada mensagem *Alert* enviada é de:
 - R10 para R15 $\Rightarrow Alert(R10, 15, 1)$;
 - R10 para $R_{Sudoeste} \Rightarrow Alert(R10, 15, 1)$ e
 - R10 para R5 $\Rightarrow Alert(R10, 15, 1)$.

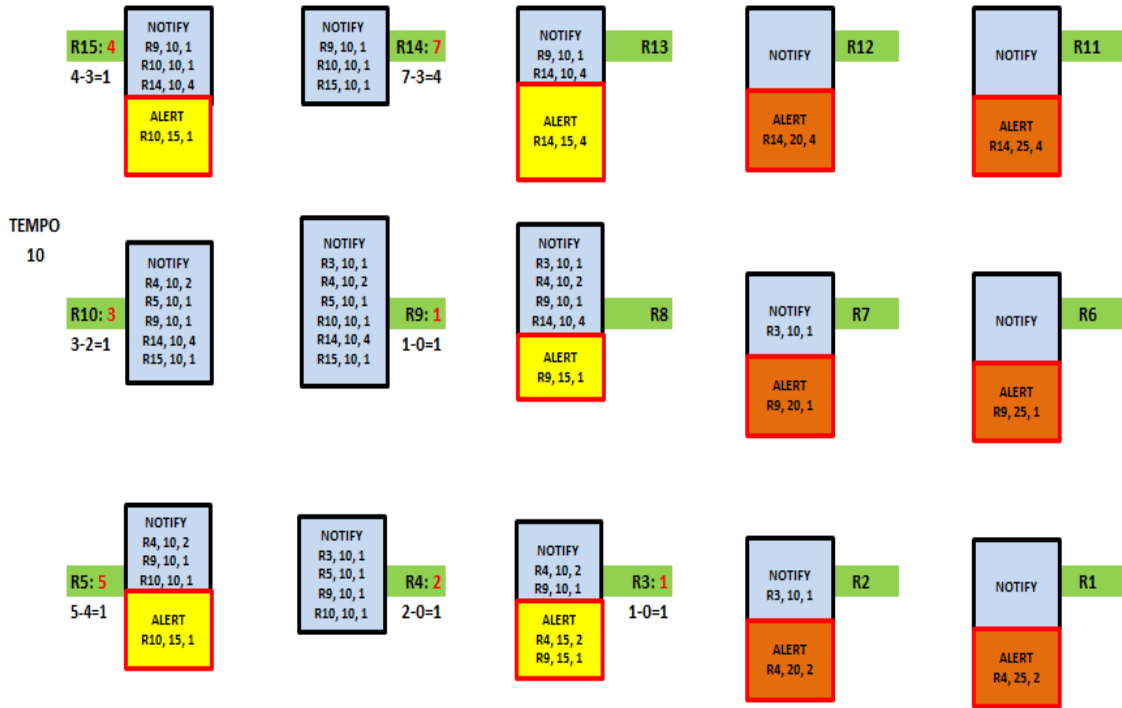
A Figura 25 apresenta o envio de todas as mensagens *Alert* no instante $t(10)$.

Figura 15. Envio das mensagens Alert no tempo t(10)



Os sensores que possuem vizinhos na mesma direção em que receberam mensagens Alert, propagam essa mensagem no sentido contrário. Assim, as caixas laranja (Figura 26) representam as mensagens *Alert* propagadas e completam a comunicação entre os sensores no instante t(10).

Figura 16. Comunicação entre sensores no tempo t(10)



4.2.5 Relação de escalas do ambiente real com o simulado

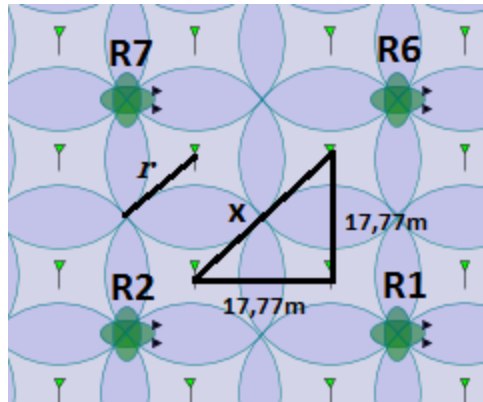
A área de cobertura de um sensor RFID Base é dada por uma circunferência translúcida com uma antena no centro, conforme a Figura 27. O triângulo que aparece na figura tem suas medidas extraídas do ambiente real (pátio de acesso ao Estádio Engenhão - RJ), de acordo com a Figura 19 do Capítulo 4. Nele, há dois lados (catetos) medindo 17,77 metros e um terceiro lado “x” (hipotenusa), cujo valor é calculado a partir da aplicação do Teorema de Pitágoras, representado na Equação 3.

$$x^2 = 17,77^2 + 17,77^2 \Rightarrow x = \sqrt{631,546} \Rightarrow x = 25,1306 \text{ m} \quad (3)$$

Como o valor de “x” é o dobro do raio da circunferência que representa a área de cobertura de um sensor RFID Base, então, a medida do raio (r) é encontrada na Equação 4.

$$r = \frac{25,1306}{2} = 12,56 \text{ m} \quad (4)$$

Figura 17. Cálculo do raio de um sensor RFID Base no ambiente real



De posse do valor do raio (r), utilizamos a Equação 5 para calcular a área da circunferência, conforme Mundo Educação (2012), que delimita a área de cobertura de um sensor RFID Base:

$$A_{\text{círculo}} = \pi \times r^2 = 3,14 \times (12,56)^2 = 495,35 \text{ m}^2 \quad (5)$$

Segundo a ABTN NBR 9050/2004, uma pessoa sem necessidades especiais ocupa, em pé, uma circunferência de diâmetro 0,6 m, cuja área mede 0,2826 m². Então, aplicando uma regra de três, calcula-se que, se uma pessoa ocupa 0,2826 m², então em um metro quadrado, 3,53 pessoas, sem necessidades especiais e em pé, podem ocupar esse espaço de forma confortável. Fazendo o devido ajuste numérico para três (03) pessoas por metro quadrado, definimos que elas podem comportar-se confortavelmente neste espaço sem causar pânico. Então, considera-se esse valor como sendo o limite máximo suportável de

pessoas para uma área de um metro quadrado. Um número maior que esse já seria uma condição desagradável e avaliada neste trabalho como uma quantidade crítica. Em uma situação de emergência, um número maior do que três pessoas, por metro quadrado, já teria extrema dificuldade de deslocamento.

Conforme as definições da topologia dos sensores apresentadas no Capítulo 4 e, de acordo com os cálculos acima, em que o limite é de 3 pessoas/m², então a área de um sensor RFID Base (495,35 m²) comporta, na devida proporção, um limite de 1.486 pessoas.

Para ajustar esse número de pessoas e calcular o limite máximo suportável de pessoas na região de um sensor central, aplicamos um coeficiente de proporcionalidade (C_p), conforme Tabela 5.

Tabela 5. Coeficiente de Proporcionalidade

ÁREA (m ²)	Quant. de Pessoas	Coef. Proporcionalidade (C_p)
1 m ²	3	$C_p = \frac{1m^2}{495,35m^2} = \frac{3 pes.}{1486 pes.} = \frac{12 pes.}{5944 pes.} = 0,002018$
495,35 m ²	1.486	

Aplicando o coeficiente de proporcionalidade para a área de um sensor central (1.981,38 m²) e adaptando ao ambiente de simulação no Ptolemy II, calculamos a quantidade ajustada (C_n) de pessoas que podem ser detectadas, no mesmo instante, conforme Equação 6:

$$C_n = 0,002018 \times 5.944 = 11,99 \cong 12 \text{ pessoas} \quad (6)$$

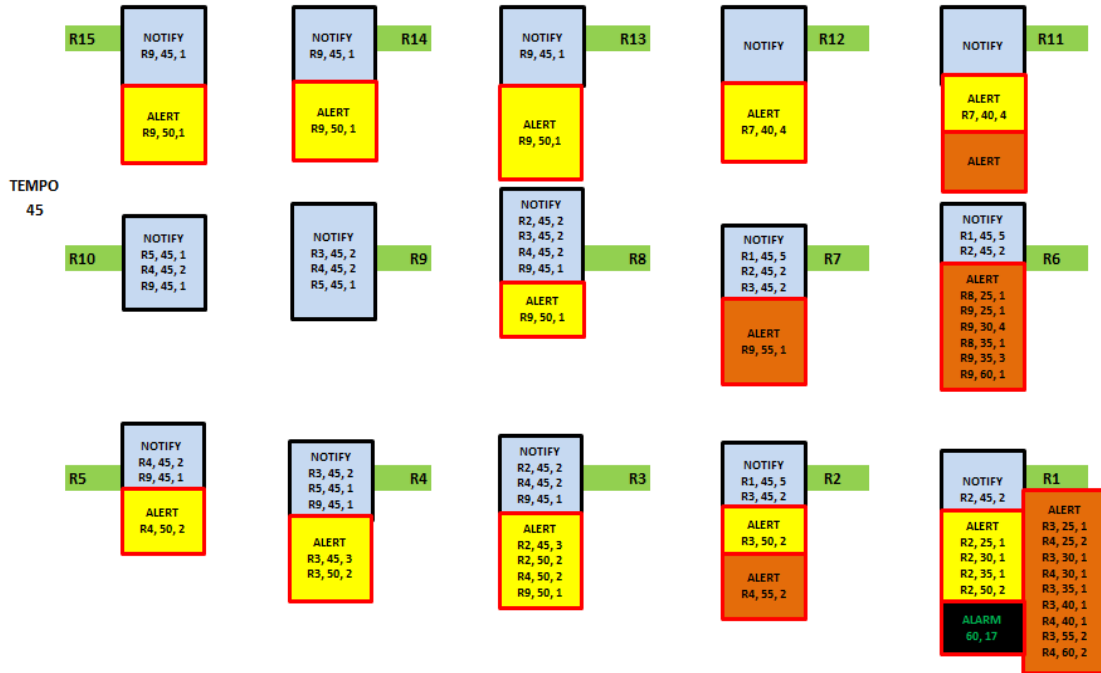
Portanto, definimos que, em nosso ambiente simulado, o limite máximo de pessoas que podem acomodar-se na região de um sensor central é de 12 pessoas por unidade de tempo. Baseado nesse limite é que o algoritmo mede o seu grau de criticidade. A análise realizada pelo algoritmo define o quão crítico está esse número de pessoas em determinada região. Dessa forma, o envio de uma mensagem *Alarm*, está de acordo com os parâmetros abaixo:

1. Se $C_n < 12$, a quantidade de pessoas está abaixo do limite mínimo e não caracteriza risco de formação de uma multidão. Dessa forma, o sensor não enviará um *Alarm* para o sensor destinatário (s_d);
2. Se $C_n \geq 12$, a quantidade de pessoas já é avaliada como crítica e haverá formação de multidão na região do sensor destinatário (s_d). Neste caso, o sensor central envia uma mensagem *Alarm* ao sensor destinatário (s_d).

E, concluindo o exemplo da execução do algoritmo, retomamos ao mesmo, no tempo $t(45)$, para demonstrar uma condição crítica de formação de multidão.

Neste caso, um *Alarm* é disparado pelo sensor R1 (localização do portão de entrada do estádio) no tempo $t(45)$ e prevendo uma situação crítica para o instante $t(60)$, pois a quantidade estimada pelo algoritmo ultrapassou o limite de 12 pessoas (Figura 28).

Figura 18. Mensagem Alarm no sensor R1 (portão de entrada)



5 Estudo de Caso: torcedores em partida de futebol

5.1 Introdução

Em virtude da aproximação dos eventos esportivos sediados no Brasil, como a Copa das Confederações, a Copa do Mundo e os Jogos Olímpicos, o pátio de acesso ao Estádio Engenhão – Rio de Janeiro foi utilizado como cenário de testes. Em parte deste espaço, foi simulada a distribuição da RSSF, conforme descrição nos Capítulos 4 e 5.

Esse trabalho ocorreu em ambiente simulado utilizando o Ptolemy II, onde foram criados dois cenários de testes que denominamos de Cenário 1 e Cenário 2. Conforme o Capítulo 5, esses cenários são executados em janelas de tempo com variação de 5 unidades de tempo, por exemplo, $t(0)$, $t(5)$, $t(10)$ e assim sucessivamente, mas é válido dizer que essa variação poderia ser testada com quaisquer outros valores.

Antes de entrar propriamente nos testes realizados nos dois cenários, foi configurada a velocidade de cada pessoa através do parâmetro *speed*, cujo valor é 20. Utilizando a fórmula da velocidade média, $V_m = \text{Espaço}/\text{Tempo}$, significa que a distância percorrida por uma pessoa é vinte vezes maior do que o tempo gasto no referido percurso, conforme Equação 7.

$$Vm = 20 = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \Delta S = 20 \times \Delta t \quad (7)$$

Segundo o DNIT (2010), a velocidade de um pedestre pode variar de 0,8 a 1,8 metros por segundo. Essa referência leva em consideração aspectos como o tipo de ambiente em que as pessoas estão transitando, a inclinação, o sexo e até a idade das pessoas acompanhadas, segundo a Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito (2010). Neste trabalho, foi adotado que a velocidade de uma pessoa em um ambiente real é de 1 m/s. Assim, mantemos a mesma em um nível próximo da realidade.

Dessa forma, foi utilizada uma escala de referência em que cada 20 unidades de comprimento no simulador correspondem a 1 (um) metro no ambiente real e que cada unidade de tempo simulado corresponde a um segundo. Portanto, adotamos que uma velocidade de 20 unidades de espaço, por unidade de tempo (t) realizada por um objeto pessoa, equivale a uma pessoa real com a velocidade que adotamos, 1 m/s.

Substituindo esse valor na fórmula da velocidade média, teremos $1 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$. Isto significa que, em ambiente real, cada unidade de espaço deslocado corresponde a um tempo com mesmo valor.

5.2 Cenário 1: deslocamento pelo pátio de acesso ao estádio

Neste cenário, temos 50 pessoas configuradas no Ptolemy II conforme os parâmetros apresentados no Capítulo 4. O tempo total de simulação foi testado de acordo com a seguinte configuração: a) *stopTime* = 0.0 e *startTime* = 70, ou seja, o tempo total de simulação é $t = 70$. As demais configurações seguem o que foi descrito no Capítulo 4.

A simulação pressupõe que, ao passarem pela área de cobertura dos sensores, cada pessoa que esteja com uma etiqueta RFID é detectada pelos sensores RFID Base e estes, transmitem seus dados aos sensores centrais, conforme descrição no Capítulo 4. Os dados do deslocamento de cada uma das 50 pessoas envolvidas na simulação são registrados na forma de coordenadas cartesianas e são apresentados, conforme as telas denominadas “Posição Real da Pessoa (*idPeople*)” na Figura 29. À medida que a pessoa desloca-se pela área simulada, um par ordenado é gerado, por unidade de tempo, indicando sua atual posição. Ao mesmo tempo, um log de detecção é gerado com outros dados de cada pessoa detectada, conforme a Figura 30. Esse log foi ajustado no algoritmo para imprimir um registro, por linha, contendo três dados, nessa ordem: o sensor que detecta a pessoa, o instante (t) em que ela foi detectada e a identificação (*idPeople*) da pessoa detectada.

O log de detecção apresenta o que cada sensor detecta por unidade de tempo, até que o tempo total da simulação seja esgotado.

Figura 19. Registros das coordenadas cartesianas por pessoa

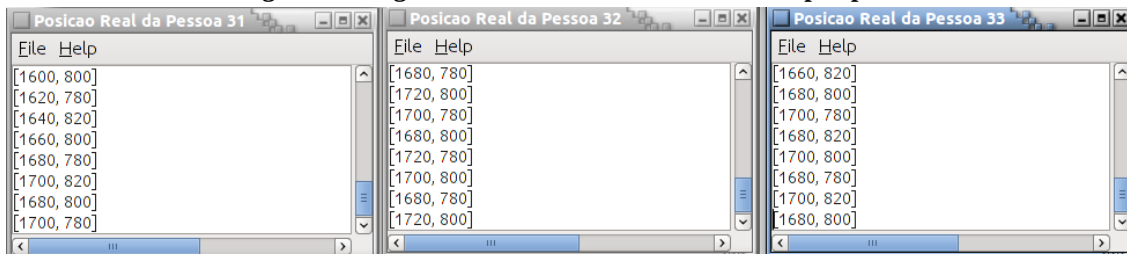


Figura 28. Log de detecção por sensor do Cenário 1

```

Arquivo  Editar  Ver  Pesquisar  Terminal  Ajuda
Sensor 2 - Time = 59.935905870300004: Pessoa 38
Sensor 12 - Time = 59.939527539100006: Pessoa 35
Sensor 11 - Time = 59.9435452241: Pessoa 17
Sensor 12 - Time = 59.954487718100005: Pessoa 38
Sensor 15 - Time = 59.9551140644: Pessoa 27
Sensor 2 - Time = 59.9599833166: Pessoa 35
Sensor 6 - Time = 59.971996663300004: Pessoa 46
Sensor 15 - Time = 59.984264177700005: Pessoa 30
Sensor 4 - Time = 59.991741247200004: Pessoa 15
Sensor 15 - Time = 59.998618658000005: Pessoa 22
Sensor 6 - Time = 59.998769841000005: Pessoa 39
Sensor 4 - Time = 60.001996663300005: Pessoa 13
Sensor 5 - Time = 60.043425667: Pessoa 30
Sensor 16 - Time = 60.0435452241: Pessoa 39
Sensor 2 - Time = 60.052715912400004: Pessoa 32
Sensor 5 - Time = 60.0535452241: Pessoa 22
Sensor 12 - Time = 60.0697233845: Pessoa 32
Sensor 5 - Time = 60.078769841: Pessoa 33
Sensor 6 - Time = 60.103986291400005: Pessoa 50
Sensor 16 - Time = 60.1135452241: Pessoa 36
Sensor 15 - Time = 60.125365859: Pessoa 36
Sensor 1 - Time = 60.131741247200004: Pessoa 11
  
```

Para que fosse possível organizar as linhas impressas do log gerado na simulação deste cenário, foi desenvolvido um algoritmo que utilizasse como dado de entrada o próprio log de detecção, após ser salvo como arquivo de texto (extensão “txt”). A constante (tipo *string*) *arquivoEntrada* desse algoritmo recebe, como dado de entrada, o log de detecção proveniente da simulação realizada no Ptolemy II. O Interpretador de Log, como foi denominado o algoritmo, processa e reorganiza esses dados, gerando outro arquivo denominado “novoLog.txt”. No algoritmo, esse arquivo é atribuído à constante (tipo *string*) *arquivoSaida*. Neste caso, o novo log também é um arquivo de texto, mas que possui todas as detecções de acordo com as regiões que tiveram variação na quantidade de pessoas, como no exemplo:

```

[0-5]
: R10 {16, 18}
: R15 {11, 9, 32}
: R14 {6, 8, 7}
: R5 {29, 30, 20, 27} :

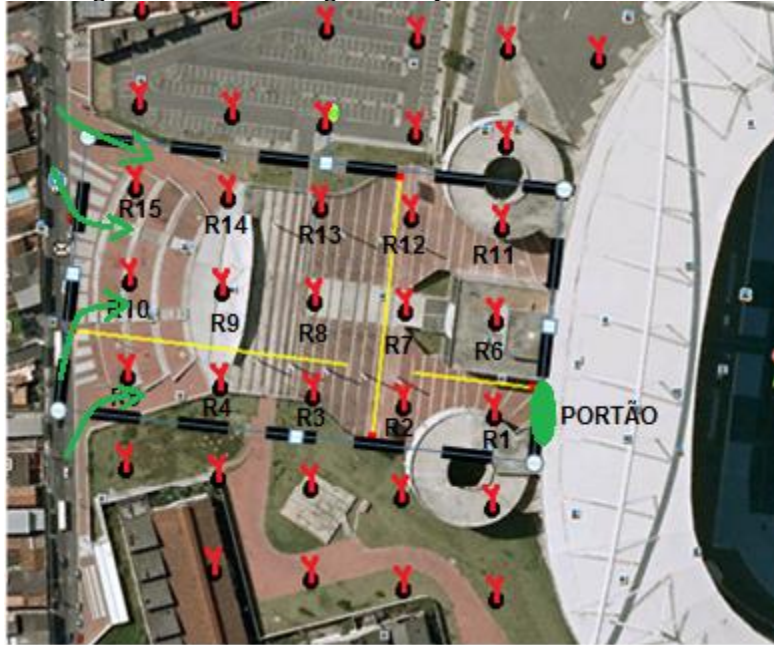
[5-10]
: R15 {1, 12, 9, 32}
: R14 {11, 31, 33, 35, 8, 10, 5}
: R10 {16, 48, 18}
: R9 {7}
: R5 {49, 30, 42, 37, 47}
: R4 {29, 30}
: R3 {27} :
  
```

Esse arquivo tem essa formatação para que outro algoritmo utilize-o como dado de entrada e estime, ao final de sua execução, a formação de grupos de pessoas em determinada região. Ao imprimir por região e por janela de tempo o novo log apresentada a lista dos “*idPeople*” das pessoas detectadas por cada sensor central. Conforme o exemplo acima, no tempo $[0-5] = t(5)$, as regiões R10, R15, R14 e R5 tiveram variações na quantidade de pessoas em suas regiões e imprimiram os respectivos “*idPeople*” das pessoas detectadas.

Neste teste, foi simulado um número de 50 pessoas que chegam ao pátio de acesso e deslocam-se em direção ao portão de entrada do estádio, já que pretendem assistir algum evento realizado no mesmo. No pátio de acesso existe um retângulo (Figura 22 – Capítulo 4) que simula 14.222,93 metros quadrados reais do estádio e a RSSF cobre toda essa área com seus 60 sensores RFID Base, divididos em 15 regiões (R1 a R15), conforme descrição no Capítulo 5.

A simulação é iniciada com as pessoas chegando ao estádio de diversas direções, de acordo com a indicação das setas na Figura 31. Elas têm tipos de movimentos diferentes (retilíneo, hiperbólico ou parabólico) e atravessam a área da RSSF com o objetivo de alcançar o portão de entrada às dependências do estádio. O portão de acesso está representado pela elipse verde no canto inferior direito da figura, onde pressupõem-se que a intenção de cada pessoa é chegar até ele.

Figura 29. Pessoas chegando ao pátio de acesso ao estádio



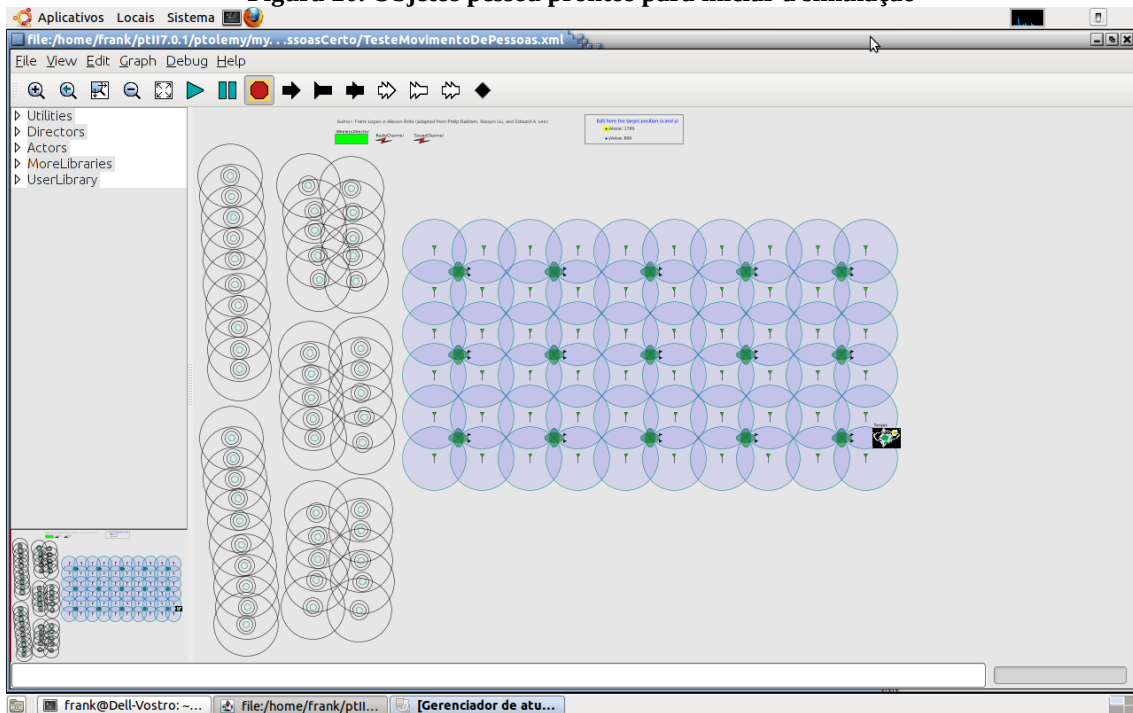
O retângulo da Figura 29 é a base para o desenvolvimento da simulação no Ptolemy II. No simulador, foi representado o ambiente real, conforme a Figura 30. Este é o instante que antecede a execução, propriamente dita, da simulação. Conforme as definições no Capítulo 4, cada uma das 50 pessoas envolvidas neste cenário têm uma posição inicial (Tabela 6), cuja configuração no ambiente de simulação é definida de acordo com coordenadas cartesianas. Por exemplo, na Figura 32, uma dessas pessoas está posicionada na coordenada [30, 30]. Ao iniciar a simulação, ela desloca-se em direção ao alvo e, tanto sua coordenada “x”, como a “y” varia de 20 unidades de espaço, a cada unidade de tempo (vide parâmetro “*speed*” no Capítulo 4), até que o tempo de simulação acabe ou até que a pessoa atinja o alvo. Dessa forma, pressupõe-se que cada uma delas deve atravessar a área da RSSF e buscar o portão (alvo) do estádio, para que possam ter acesso às dependências do mesmo.

Tabela 6. Posições iniciais das pessoas no cenário 1

Pessoa 1 a 10	Posição Inicial	Pessoa 11 a 20	Posição Inicial	Pessoa 21 a 30	Posição Inicial	Pessoa 31 a 40	Posição Inicial	Pessoa 41 a 50	Posição Inicial
1	30, 30	11	30, 250	21	30, 470	31	0, 70	41	0, 490
2	30, 70	12	30, 290	22	30, 510	32	0, 110	42	0, 530
3	30, 110	13	30, 330	23	30, 550	33	0, 150	43	0, 570
4	30, 150	14	30, 370	24	30, 590	34	0, 190	44	0, 610

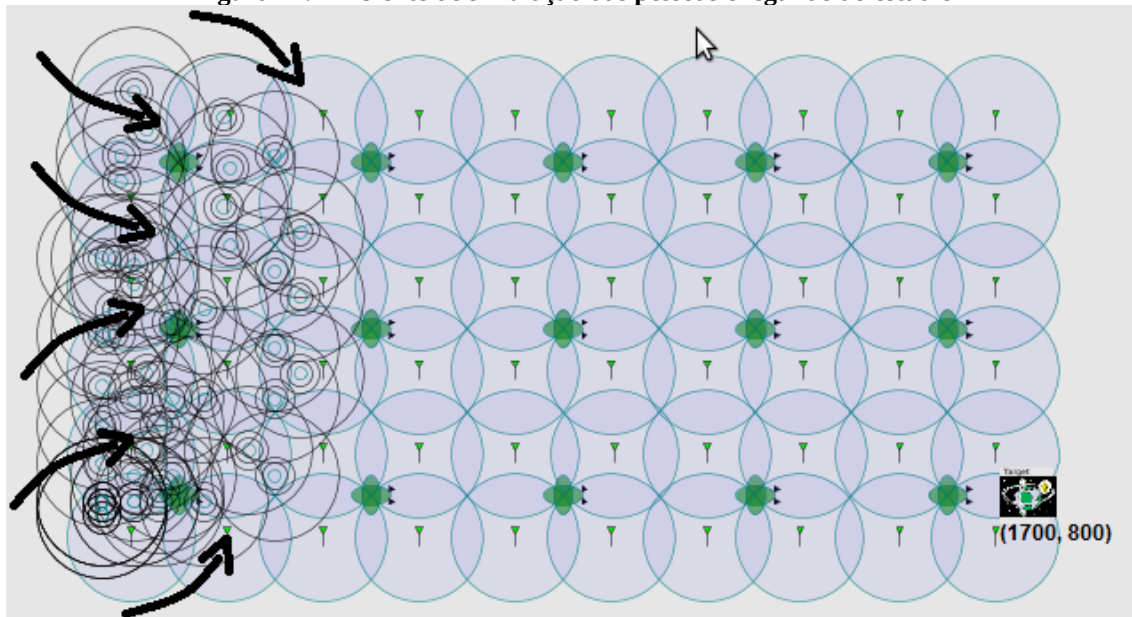
5	30, 190	15	30, 410	25	30, 630	35	0, 230	45	0, 650
6	70, 30	16	70, 250	26	70, 470	36	0, 270	46	0, 690
7	70, 70	17	70, 290	27	70, 510	37	0, 310	47	0, 730
8	70, 110	18	70, 330	28	70, 550	38	0, 350	48	0, 770
9	70, 150	19	70, 370	29	70, 590	39	0, 390	49	0, 810
10	70, 190	20	70, 410	30	70, 630	40	0, 430	50	0, 850

Figura 20. Objetos pessoa prontos para iniciar a simulação



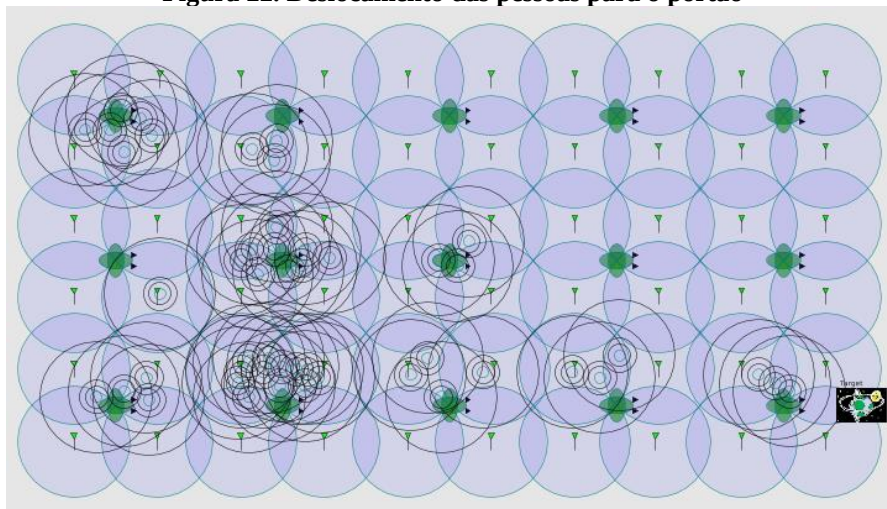
Os primeiros intervalos de tempo da simulação são representados pela movimentação das pessoas chegando pelo lado esquerdo e com o objetivo de chegar ao alvo, localizado no canto inferior direito, posicionado nas coordenadas (1700, 800), conforme Figura 33.

Figura 21. Ambiente de simulação das pessoas chegando ao estádio



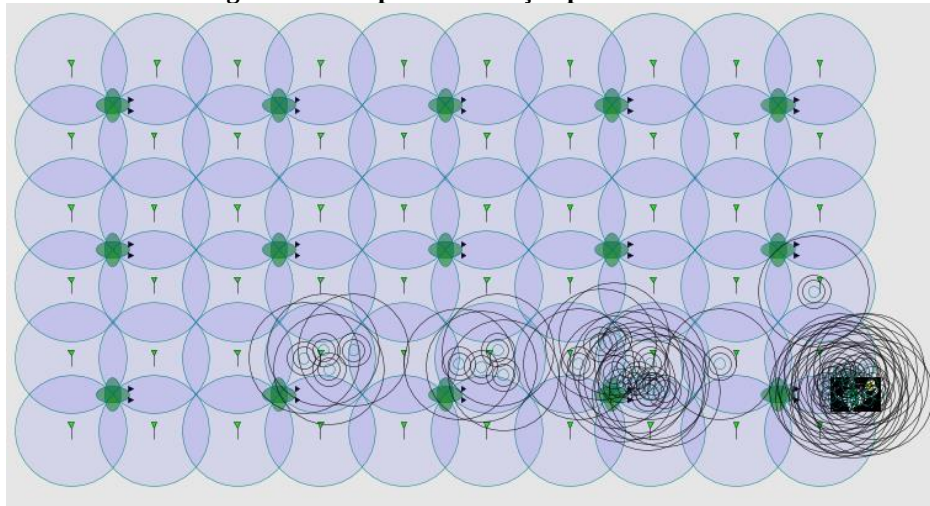
Ao longo da simulação, as pessoas atravessam a região dos sensores que registram os movimentos detectados no pátio. A Figura 34 apresenta o comportamento do deslocamento das pessoas, aproximadamente, na metade do tempo de simulação.

Figura 22. Deslocamento das pessoas para o portão



A Figura 35 mostra os instantes finais da simulação nas condições deste cenário. Para que fosse possível testar o algoritmo que realiza a estimativa de formação de grupos, foi condicionado um acúmulo maior de pessoas na região do portão de acesso, ou seja, as pessoas movimentam-se em direção ao alvo, mas ao chegarem lá não conseguem seguir em frente, por alguma razão imposta pelo ambiente simulado.

Figura 23. Tempo de simulação próximo do fim



Portanto, os eventos que ocorrem neste cenário simulam o deslocamento de pessoas e a proposta do algoritmo de comunicação entre sensores é de prever a formação de multidão em algum ponto do ambiente simulado com certo nível de antecipação.

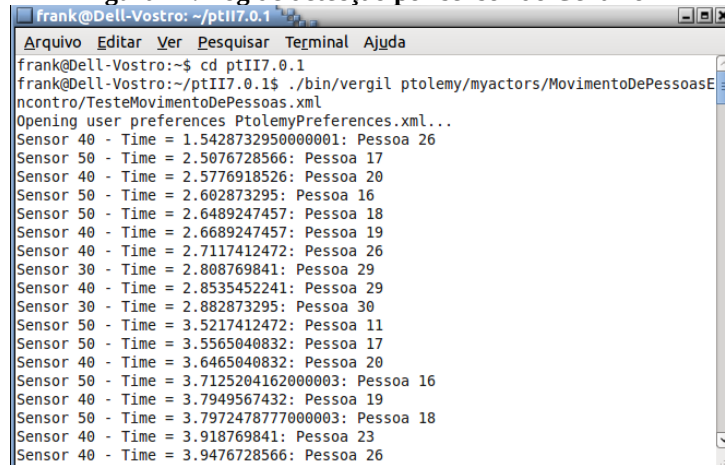
5.3 Cenário 2: encontro de torcidas

Neste cenário, foi simulado o deslocamento de dois grupos. Cada um com 50 pessoas, citando como exemplo, duas torcidas rivais. Cada grupo atravessa a RSSF (Capítulo 5) com sentidos contrários e determinados a se encontrarem, de acordo com configuração do simulador. A ideia é que esse encontro dos dois grupos ocorra na região R8 e, para este ponto, seja feita a estimativa do encontro.

O tempo total de simulação foi testado e analisado configurando os parâmetros de tempo com os valores $stopTime = 0.0$ e $startTime = 50$, ou seja, quando o tempo total de simulação é $t = 50$.

Assim como no primeiro cenário, cada pessoa tem seu deslocamento detectado pelos sensores RFID Base e seus dados enviados aos sensores centrais. Os dados do deslocamento de cada uma das 100 pessoas envolvidas na simulação são registrados na forma de coordenadas cartesianas e são apresentados de forma semelhante aos da Figura 29, do cenário anterior. O log de detecção dos sensores é apresentado na Figura 36.

Figura 24. Log de detecção por sensor do Cenário 2



```

frank@Dell-Vostro:~/ptII7.0.1$ cd ptII7.0.1
frank@Dell-Vostro:~/ptII7.0.1$ ./bin/vergil ptolemy/myactors/MovimentoDePessoasE
ncontro/TesteMovimentoDePessoas.xml
Opening user preferences PtolemyPreferences.xml...
Sensor 40 - Time = 1.5428732950000001: Pessoa 26
Sensor 50 - Time = 2.5076728566: Pessoa 17
Sensor 40 - Time = 2.5776918526: Pessoa 20
Sensor 50 - Time = 2.602873295: Pessoa 16
Sensor 50 - Time = 2.6489247457: Pessoa 18
Sensor 40 - Time = 2.6689247457: Pessoa 19
Sensor 40 - Time = 2.7117412472: Pessoa 26
Sensor 30 - Time = 2.808769841: Pessoa 29
Sensor 40 - Time = 2.8535452241: Pessoa 29
Sensor 30 - Time = 2.882873295: Pessoa 30
Sensor 50 - Time = 3.5217412472: Pessoa 11
Sensor 50 - Time = 3.5565040832: Pessoa 17
Sensor 40 - Time = 3.6465040832: Pessoa 20
Sensor 50 - Time = 3.7125204162000003: Pessoa 16
Sensor 40 - Time = 3.7949567432: Pessoa 19
Sensor 50 - Time = 3.7972478770000003: Pessoa 18
Sensor 40 - Time = 3.918769841: Pessoa 23
Sensor 40 - Time = 3.9476728566: Pessoa 26

```

Nesta etapa, o Interpretador de Log executa as mesmas ações empreendidas no cenário 1, gerando como saída um arquivo denominado “novoLog.txt” e imprimindo as detecções por região, como no exemplo:

[0-5]

: R10 {26, 20, 19, 29, 30, 23, 13, 15, 16, 18}
: R15 {17, 16, 18, 11}
: R11 {53, 54, 55} :

[5-10]

: R15 {17, 16, 18, 11, 12, 35, 31, 36}
: R10 {19, 23, 26, 29, 28, 30, 13, 16, 15, 18, 20, 21, 22, 25, 41, 17, 47, 11, 14, 34, 38, 39, 43, 24, 46, 48, 12, 33, 37}
: R11 {61, 52, 54, 53, 55, 51, 57, 58, 59, 67, 56}
: R6 {63, 65, 64, 72, 75, 71, 73, 74, 66, 68, 69, 70, 77, 78}
: R1 {100}
: R5 {49} :

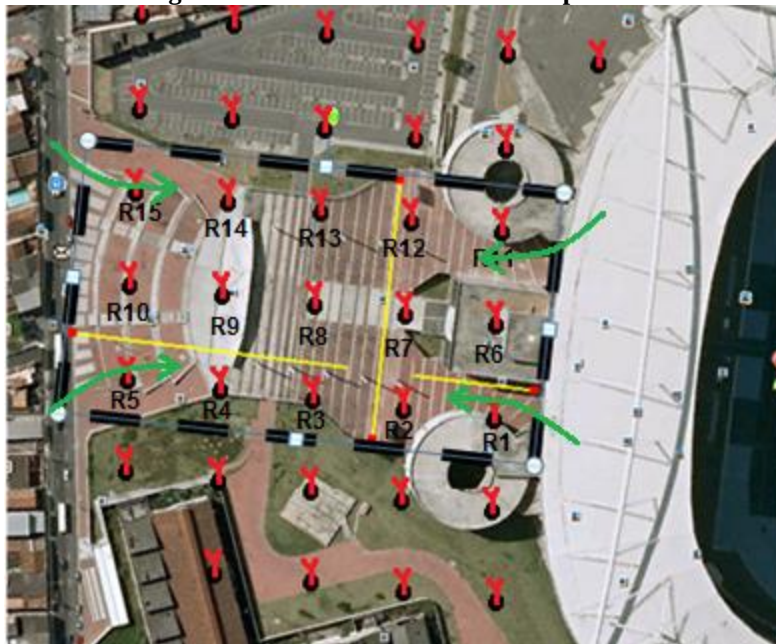
[10-15]

: R10 {19, 23, 26, 29, 28, 30, 13, 16, 15, 18, 20, 21, 22, 25, 41, 17, 47, 11, 14, 34, 38, 39, 43, 24, 46, 48, 12, 33, 37, 42, 45, 49, 31, 36, 50, 35}
: R6 {63, 65, 64, 72, 75, 71, 73, 74, 66, 68, 69, 70, 77, 78, 67, 76, 53, 79, 80, 100, 58, 61, 88, 97, 83, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 84}
: R5 {49, 50}
: R1 {100}
: R15 {11, 12, 31, 36, 35}
: R11 {52, 51, 53, 55, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 85, 61, 67, 81, 82}
: R9 {17, 11, 14, 29, 23} :

No entanto, neste cenário, as pessoas chegam por pontos opostos da RSSF representada pelo mesmo retângulo do cenário anterior. A Figura 37 mostra o início da

simulação e as setas retratam o caminho que as pessoas estão tomando. O sentido do deslocamento é em direção à região R8, onde pressupõem-se que cada pessoa deve chegar.

Figura 25. Rota de encontro das 100 pessoas



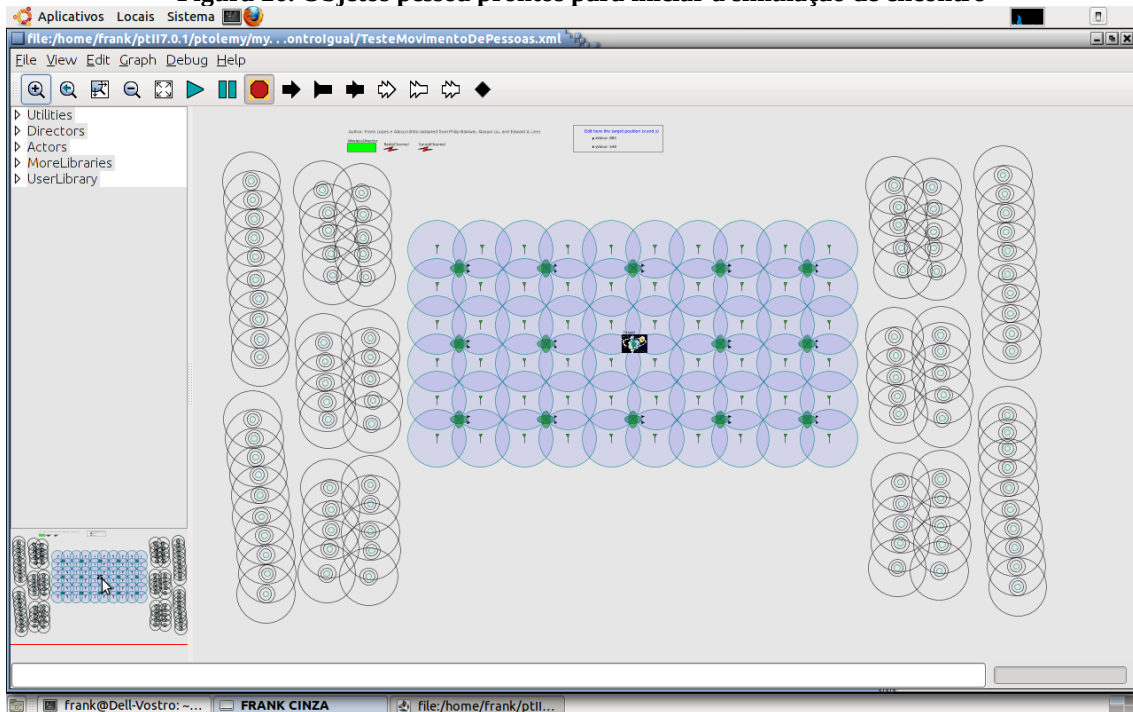
A Figura 36 mostra o ambiente real representado no Ptolemy II, onde dois grupos, contendo 50 pessoas em cada um deles, chegam de lados opostos à área da RSSF. A posição inicial (Tabela 7) de cada pessoa também está de acordo com coordenadas cartesianas e seus movimentos seguem as mesmas definições do cenário 1. Por exemplo, na Figura 38, duas dessas pessoas estão posicionadas, respectivamente, nas coordenadas [30, 30], área à esquerda do alvo e [1700, 250], à direita do alvo. Ao iniciar a simulação, cada uma delas desloca-se em direção ao alvo e, variando suas coordenadas “x” e “y” 20 unidades de espaço, a cada unidade de tempo (vide parâmetro “*speed*” no Capítulo 4), até que o tempo de simulação acabe ou até que as pessoas atinjam o alvo. Portanto, cada grupo segue em rota de encontro ao outro e em direção ao alvo. O pressuposto é de que elas desloquem-se até a metade da RSSF, encontrando-se na região R8, cuja coordenada é (895, 540).

Tabela 7. Posições iniciais das pessoas no cenário 2

Pessoa 1 a 10	Posição Inicial	Pessoa 11 a 20	Posição Inicial	Pessoa 21 a 30	Posição Inicial	Pessoa 31 a 40	Posição Inicial	Pessoa 41 a 50	Posição Inicial
1	30, 30	21	30, 470	41	0, 490	61	1700, 250	81	1790, 70
2	30, 70	22	30, 510	42	0, 530	62	1700, 290	82	1790, 110
3	30, 110	23	30, 550	43	0, 570	63	1700, 330	83	1790, 150

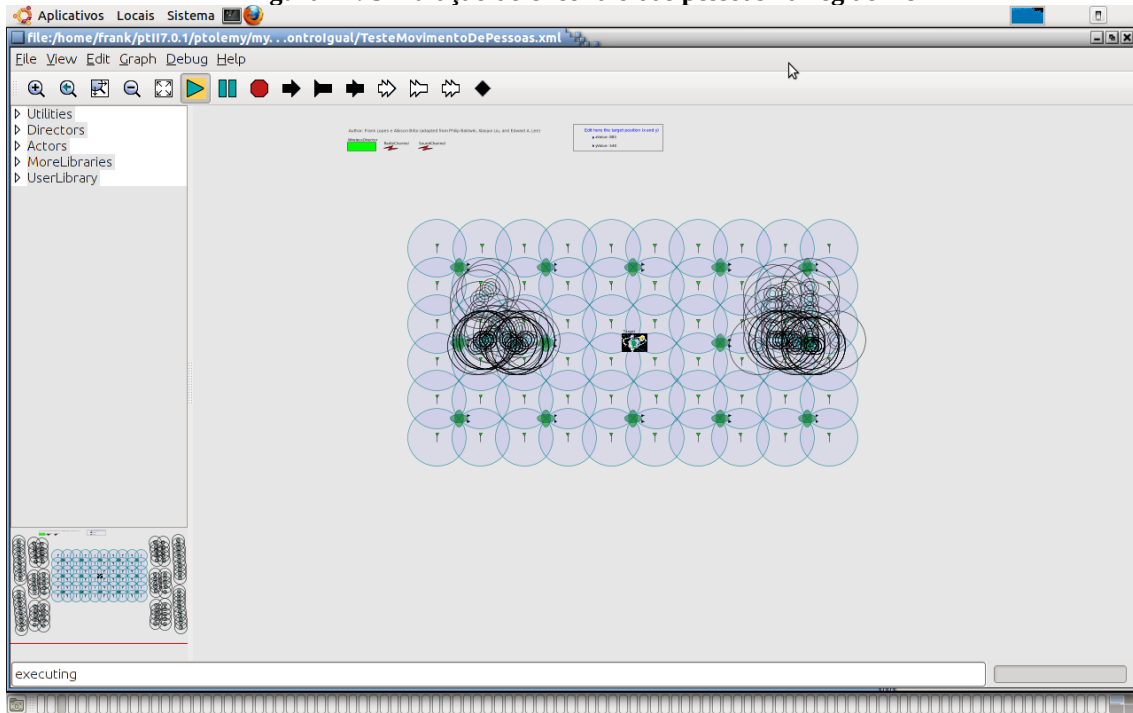
4	30, 150	24	30, 590	44	0, 610	64	1700, 370	84	1790, 190
5	30, 190	25	30, 630	45	0, 650	65	1700, 410	85	1790, 230
6	70, 30	26	70, 470	46	0, 690	66	1740, 250	86	1790, 270
7	70, 70	27	70, 510	47	0, 730	67	1740, 290	87	1790, 310
8	70, 110	28	70, 550	48	0, 770	68	1740, 330	88	1790, 350
9	70, 150	29	70,590	49	0, 810	69	1740, 370	89	1790, 390
10	70, 190	30	70, 630	50	0, 850	70	1740, 410	90	1790, 430
11	30, 250	31	0, 70	51	1700, 30	71	1700, 470	91	1790, 490
12	30, 290	32	0, 110	52	1700, 70	72	1700, 510	92	1790, 530
13	30, 330	33	0, 150	53	1700, 110	73	1700, 550	93	1790, 570
14	30, 370	34	0, 190	54	1700, 150	74	1700, 590	94	1790, 610
15	30, 410	35	0, 230	55	1700, 190	75	1700, 630	95	1790, 650
16	70, 250	36	0, 270	56	1740, 30	76	1740, 470	96	1790, 690
17	70, 290	37	0, 310	57	1740, 70	77	1740, 510	97	1790, 730
18	70, 330	38	0, 350	58	1740, 110	78	1740, 550	98	1790, 770
19	70, 370	39	0, 390	59	1740, 150	79	1740, 590	99	1790, 810
20	70, 410	40	0, 430	60	1740,190	80	1740, 630	100	1790, 850

Figura 26. Objetos pessoa prontos para iniciar a simulação de encontro



A Figura 39 mostra um momento da simulação em que as pessoas visam o encontro no local apontado pelo alvo (*target*).

Figura 27. Simulação do encontro das pessoas na região R8



Portanto, assim como o primeiro cenário, os eventos que ocorrem neste cenário simulam o deslocamento de pessoas e a proposta do algoritmo de comunicação entre sensores é de prever o encontro da multidão na região R8 do ambiente simulado.

6 Apresentação e Análise dos Resultados

Este capítulo destina-se a apresentação e análise dos resultados alcançados nos dois estudos de caso realizados. Em cada um deles, alguns aspectos foram relevantes para que fosse possível emitir os resultados desse trabalho. Um deles é o fato de que o círculo correspondente à área de cobertura de cada sensor RFID Base é secante em relação às demais áreas dos outros sensores. Isso significa que os limites de cobertura têm pequenas áreas em comum e que uma mesma pessoa pode ser detectada por outro sensor RFID Base, na mesma janela de tempo. Assim, como o incremento do tempo é de 5 unidades, fica esclarecido que algumas pessoas tiveram seus *idPeople* impressos no log de detecção mais de uma vez, na mesma janela de tempo.

Outro aspecto relevante é que foi adotada em nossos testes uma tolerância de 15% de erro nas estimativas, pois a quantidade de pessoas detectadas dentro desse limite é considerada aceitável se comparada com o volume de pessoas esperadas para que seja caracterizada uma aglomeração. Reforça-se esse valor de tolerância ao fato de que o objetivo desse trabalho não é precisar o número exato de pessoas que estarão em determinado momento e em determinado local, e sim, se haverá ou não a formação de aglomerados de pessoas em determinado momento e determinado local.

6.1 Resultados do Cenário 1: deslocamento em direção ao portão de acesso

A sequência das Figuras 33 a 35, apresentadas no Capítulo 6, demonstra uma forte e crescente tendência do deslocamento das pessoas seguirem para a região sudeste do espaço simulado. Essa tendência é correta e está confirmada pela Tabela 6 e seus respectivos gráficos nas Figuras 40 e 41, pois ao longo do tempo, percebe-se que as pessoas caminham pela RSSF em busca do portão de acesso localizado na região R1. Em ambos os gráficos, observando as faixas de tempo de 20 a 70, nota-se que há um crescimento na quantidade de pessoas na região R1 e que ele é maior do que nas outras regiões, à medida que o tempo de simulação se aproxima do seu final.

Com este fato, o primeiro objetivo da simulação está cumprido, já que as pessoas deslocam-se para o destino esperado, dentro do ambiente simulado.

Tabela 8. Quantidade de pessoas no cenário 1: tempo (t) x região (R)

(R) (t)	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	TOTAL
5	3	3	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	12
10	4	7	0	0	0	3	1	0	0	0	5	2	1	0	0	23
15	2	10	2	0	0	5	5	1	1	0	2	3	2	1	0	34
20	5	6	0	0	0	4	8	0	0	0	3	11	3	2	2	44
25	6	3	0	0	0	1	9	3	0	0	4	12	4	3	3	48
30	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	4	11	5	4	5	33
35	1	1	0	0	0	1	5	6	7	4	5	0	0	5	6	41
40	2	0	0	0	0	3	1	4	0	5	7	4	3	8	8	45
45	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	8	6	5	9	13	48
50	3	4	0	0	0	0	3	3	2	2	3	7	0	5	15	47
55	0	0	0	0	0	1	3	0	3	3	4	0	5	7	16	42
60	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4	1	1	3	8	20	45
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	4	11	21	40
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	2	5	14	20	47

Na Tabela 6, é armazenada a quantidade de pessoas detectadas por região, coluna (R), e de acordo com as janelas de tempo da simulação, coluna (t). Por exemplo, a linha que registra o tempo 50, informa que 15 pessoas são detectadas em R1. Da mesma forma, a coluna TOTAL acumula todas as pessoas que foram detectadas naquela janela de tempo e, no nosso exemplo, no tempo 50, foram detectadas 47 pessoas. Como há um total de 50 pessoas simuladas neste cenário, pressupõe-se que as três pessoas que não aparecem na coluna TOTAL podem ter desviado a rota e não atingiram o alvo, pelo menos até as 70 unidades de tempo simuladas.

Pelos dados apresentados na Tabela 6 e nos gráficos (Figura 40 e 41), fica mais evidente perceber que as pessoas estão acumulando-se em R1 no tempo t(70). Ao tempo em que o arquivo “novoLog.txt” (arquivo de saída do Interpretador de Log) é gerado, ele é imediatamente utilizado como dado de entrada para o algoritmo que estima a formação de grupos de pessoas.

Figura 38. Gráfico das regiões no cenário 1 em colunas: Quant. Pessoas (n) x Tempo (t)

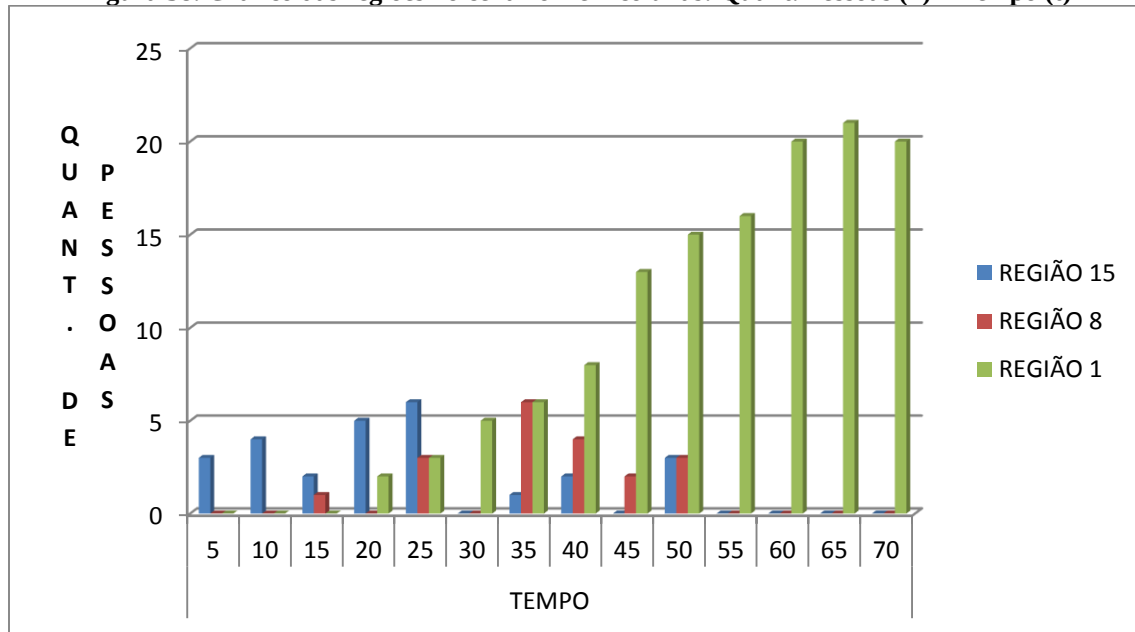
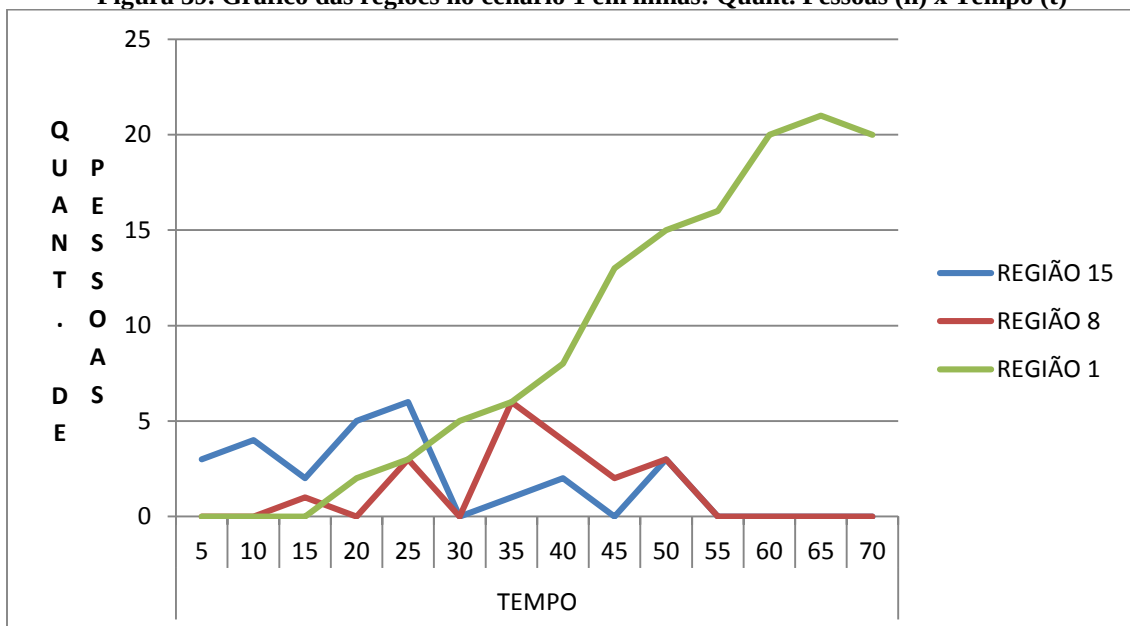


Figura 39. Gráfico das regiões no cenário 1 em linhas: Quant. Pessoas (n) x Tempo (t)



A cada janela de tempo e a partir da comunicação entre os sensores, mensagens são trocadas entre eles. A dinâmica dessa comunicação está expressa na Tabela 7, em que a coluna TEMPO marca as ações ocorridas naquela janela de tempo.

Essas ações são armazenadas nas demais colunas da referida tabela, sendo que:

- As colunas SENSOR e VAR informam, respectivamente, o sensor e a variação da quantidade de pessoas detectadas por aquele sensor. Essa variação só ocorre quando a quantidade variada for para mais.
- A coluna NOTIFY ARMAZENADO informa quais as mensagens que um sensor recebeu no tempo anterior.
- A coluna NOTIFY ENVIADO aponta a mensagem que o sensor envia a seus oito vizinhos.
- Os dados presentes na coluna anterior repetem-se na coluna NOTIFY ARMAZENADO, em uma janela de tempo à frente.
- A coluna ALERT armazena a mensagem que é enviada aos sensores destinatários.
- E a coluna DESTINO DO ALERT apresenta os sensores que recebem mensagens *Alert* enviadas por um sensor específico, de acordo com o que foi descrito no Capítulo 5. Nesta coluna, por vezes são informados pontos cardeais, ao invés de sensores. Isso ocorre quando a mensagem *Alert* é enviada para sensores que não se encontram dentro dos limites da área da RSSF, definida no Capítulo 4.

Tabela 9. Exemplo de troca de mensagens entre sensores

TEMPO	SENSOR	VAR	NOTIFY ARMAZENADO	NOTIFY ENVIADO	ALERT	DESTINO DO ALERT
50	R15	3-0=3	R9, 45, 1	R15, 50, 3	R15, 55, 3	NOROESTE
	R14	4-0=4	R9, 45, 1	R14, 50, 4	R14, 55, 4	NORTE
	R9	3-2=1	R3, 45, 2	R9, 50, 1	R9, 55, 1	R15
			R4, 45, 2			R14
			R5, 45, 1			R13
	R4	7-6=1	R3, 45, 2	R4, 50, 1	R4, 55, 1	R5
			R5, 45, 1			R3, R2, R1
			R9, 45, 1			SUL
	R8	3-2=1	R2, 45, 2	R8, 50, 1	R8, 55, 1	R14
			R3, 45, 2			R13
			R4, 45, 2			R12
			R9, 45, 1			R7, R6
	R7	2-0=2	R1, 45, 5	R7, 50, 2	R7, 55, 2	R13
			R2, 45, 2			R12
			R3, 45, 2			R11
	R1	15-13=2	R2, 45, 2	R1, 50, 2	R1, 55, 2	LESTE
55	R10	1-0=1	R4, 50, 1	R10, 55, 1	R10, 60, 1	NOROESTE
			R9, 50, 1			OESTE
			R14, 50, 4			SUDOESTE
			R15, 50, 3			R5
	R5	4-3=1	R4, 50, 1	R5, 55, 1	R5, 60, 1	OESTE
			R9, 50, 1			SUDOESTE
	R3	5-0=5	R4, 50, 1	R3, 55, 5	R3, 60, 5	R2, R1
			R7, 50, 2			SUDOESTE

			R8, 50, 1			SUL
			R9, 50, 1			SUDESTE
	R7	3-2=1	R1, 50, 2	R7, 55, 1	R7, 60, 1	R13
			R8, 50, 1			R6
	R2	7-5=2	R1, 50, 2	R2, 55, 2	R2, 60, 2	R3, R4, R5
			R7, 50, 2			SUL
			R8, 50, 1			SUDESTE
	R6	3-2=1	R1, 50, 2	R6, 55, 1	R6, 60, 1	R11
			R7, 50, 2			LESTE
	R1	16-15=1	R7, 50, 2	R1, 55, 1	R1, 60, 1	SUDESTE

Para exemplificar:

- No tempo 50, o sensor R15 registra que houve variação de 3 pessoas a mais em sua região e envia uma mensagem *Notify* aos seus 8 vizinhos. A mensagem (R15, 50, 3) significa que, neste instante, ele tem 3 pessoas a mais em sua área. Esse sensor possui uma mensagem *Notify* armazenada (R9, 45, 1) e isso significa que no tempo anterior, tempo (45), o sensor R9 anunciou que em sua área ele detectou 1 pessoa a mais. Portanto, R9 avisou aos seus 8 vizinhos (R15 é um deles) do que estava acontecendo com ele, naquele instante. De acordo com os parâmetros do algoritmo que estima a formação de grupos (vide Capítulo 5), R15 detectou variação para mais na quantidade de pessoas em sua área no tempo atual (50) e, além disso, ele possui mensagem *Notify* armazenada do tempo anterior enviada por seu vizinho localizado à sudeste (R9). Então, R15 envia uma mensagem *Alert* (R15, 55, 3) para seu vizinho destinatário, localizado no sentido inverso de quem enviou o *Notify*, para noroeste (R9). Essa mensagem já é uma estimativa e ela prevê que, em uma janela de tempo à frente, tempo (55), aquela região anunciada na mensagem (noroeste) poderá receber 3 pessoas.
- No tempo 50, o sensor R8 registra que houve variação de 1 pessoa a mais em sua região e envia uma mensagem *Notify* (R8, 50, 1) aos seus 8 vizinhos. No entanto, esse sensor possui 4 mensagens *Notify* armazenadas do tempo anterior: (R2, 45, 2; R3, 45, 2; R4, 45, 2 e R9, 45, 1). Como R8 recebeu 4 *Notify* e detectou variação de mais 1 pessoa em sua área, ele deve enviar, pelo menos, 4 mensagens *Alert* para as regiões localizadas no sentido inverso de cada sensor que enviou o *Notify*. Assim, seguindo a ordem das mensagens *Notify* armazenadas, R8 envia a mensagem (R8, 55, 1) para R14, R13, R12 e R7, respectivamente. Todas estas regiões agora sabem que há a estimativa de receberem 1 pessoa a mais em sua região, no tempo futuro

- (55). Em especial, a mensagem *Alert* enviada por R9 para R6 e que aparece na coluna DESTINO DO ALERT junto à R7, faz parte do efeito de propagação que as mensagens *Alert* possuem. Ou seja, como R8 recebeu o *Notify* de seu vizinho à oeste (R9) e, na direção contrária (leste), há dois sensores dentro dos limites da nossa RSSF (vide Capítulo 4) que são R7 e R6, então, R7 recebe a estimativa de 1 pessoa a mais no tempo futuro (55) e, incrementando de uma janela de tempo, no tempo (60) R6 também tem estimada a chegada de 1 pessoa em sua região. Caso houvesse mais um sensor nessa mesma direção, o tempo seria mais uma vez incrementado, agora para (65), e esse sensor também receberia essa estimativa de uma pessoa a mais deslocando nessa direção.
- Ainda no tempo 50, também podemos exemplificar o efeito de propagação nos registros do sensor R4. Este possui 3 mensagens *Notify* armazenadas e detectou variação de 1 pessoa a mais em sua área. Assim, ele deve enviar, pelo menos, 3 mensagens *Alert* para as regiões localizadas no sentido inverso de cada sensor que enviou o *Notify*. Uma para R5, outra para o sul, ambas com estimativa de chegada das pessoas para o tempo (55), e mais outra para R3, mas que terá efeito propagador para R2 e R1, que estão na mesma direção. A estimativa da chegada das pessoas em R2 será para o tempo (60) e, em R1, para o tempo (65).
 - No tempo 55 esse efeito também ocorre, por exemplo, nos registros do sensor R2 que detecta uma variação de 2 pessoas a mais em sua região. Como ele tem 3 mensagens *Notify* armazenadas, ele deve enviar, pelo menos, 3 mensagens *Alert* para as regiões localizadas no sentido inverso de cada sensor que enviou o *Notify*. Uma para o sul, outra para o sudeste, ambas com estimativa de chegada das pessoas para o tempo (60), e mais outra para R3, mas que terá efeito propagador para R4 e R5, que estão na mesma direção. A estimativa da chegada das pessoas em R2 será para o tempo (65) e, em R1, para o tempo (70).

Todas as trocas de mensagens ocorridas neste cenário, desde a janela de tempo (5) até a (70), estão presentes no Anexo desse trabalho.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos a partir das Tabelas 6 e 7, levando em consideração o intervalo de tempo observado e o desvio relativo calculado entre a quantidade prevista de pessoas para determinada região e a quantidade simulada de pessoas

naquela região, detectadas no mesmo intervalo de tempo. A coluna Tempo Observado equivale à coluna Tempo da Tabela 7, portanto, refere-se ao tempo em que ocorreu a previsão. A coluna Tempo Previsto refere-se ao tempo estimado em que as pessoas chegarão à determinada região. A coluna Grau de Antecipação calcula qual o tempo de antecipação que uma previsão deve ocorrer. A coluna “n” Real equivale a uma amostra qualquer da quantidade real de pessoas detectadas da Tabela 6. A coluna “n” Previsto é o resultado da soma de todas as quantidades de pessoas estimadas pelas mensagens *Alert* recebidas pelo sensor. A coluna Desvio Absoluto calcula a diferença entre a coluna “n” Real e a coluna “n” Previsto. A coluna Desvio Relativo calcula a porcentagem de desvio (erro) da previsão, de acordo com o resultado da coluna anterior. O cálculo é feito dividindo-se o resultado encontrado na coluna Desvio Absoluto, pelo “n” Real e, para que se tenha a porcentagem de desvio (erro), multiplica-se esse valor por 100.

Tabela 10. Previsões de formação de grupos de pessoas em R1 e sua margem de erro

TEMPO OBSERVADO	TEMPO PREVISTO	GRAU DE ANTECIPAÇÃO	“n” REAL	“n” PREVISTO	DESVIO ABSOLUTO	DESVIO RELATIVO (%)
25	40	40-25 = 15	8	9	8-9 = -1	12,5
30	40	40-30 = 10	8	11	8-11 = -3	37,5
45	50	50-45 = 05	15	13	15-13 = 2	13,33
	55	55-45 = 10	16	15	16-15 = 1	6,25
	60	60-45 = 15	20	17	20-17 = 3	15
50	55	55-50 = 05	16	15	16-15 = 1	6,25
	60	60-50 = 10	20	17	20-17 = 3	15
	65	65-50 = 15	21	18	21-18 = 3	14,28
55	60	60-55 = 05	20	17	20-17 = 3	15
	65	65-55 = 10	21	23	21-23 = -2	9,52
	70	70-55 = 15	20	23	20-23 = -3	15
60	65	65-70 = 05	21	24	21-24 = -3	14,28
	70	70-60 = 10	20	24	20-24 = -4	20
65	70	70-65 = 05	21	24	21-24 = -3	14,28

O aspecto mais relevante na Tabela 8 está nos valores em negrito nas colunas “n” Real e “n” Previsto. Como são maiores ou iguais a 12, significa que nos momentos em que foram registrados pelo algoritmo, houve o envio de mensagens *Alarm* pela região que detectou tal condição. Com exceção dos tempos t(25) e t(30), cujos valores são menores que 12, todos emitiram *Alarm*. Isso demonstra que a técnica aplicada pelo algoritmo

acertou em todas as previsões de que haveria aglomeração e, portanto, não enviou alarmes falsos.

O tempo $t(25)$ foi inserido na Tabela 8 porque, naquele instante, o número de pessoas detectadas (48) foi quase igual ao total de pessoas inseridas na simulação (96% do total). Embora esse número possa não representar a quantidade real, foi considerado que a estimativa feita, com um grau de antecipação de 15 unidades de tempo, é aceitável, mesmo que alarmes não tenham sido enviados.

O tempo $t(30)$ foi inserido na Tabela 8 pelo mesmo motivo do $t(25)$, porém a quantidade de pessoas detectadas naquele instante está 66,66% do total e, ainda assim, o algoritmo acerta e não envia alarmes.

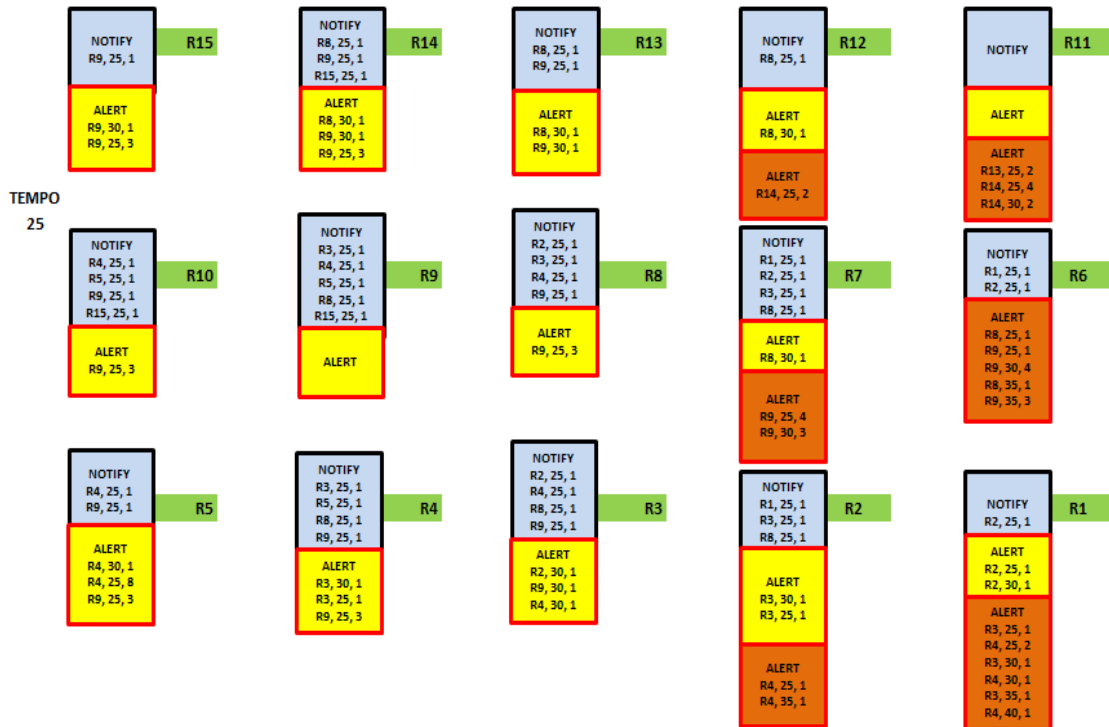
Fazendo uma referência ao tempo $t(50)$ da Tabela 8, na linha TEMPO PREVISTO = 65, foi aplicada uma regra de três para comparar melhor com números próximos do real. Para fazer isso, foi mantido o fator de proporcionalidade calculado no Capítulo 5 (0,002018 ou 0,201884%). Portanto, se 12 objetos pessoa correspondem a 5.944 pessoas reais, e como a quantidade real simulada neste instante foi de 21 objetos pessoa, então o público real seria de 10.402 pessoas. Aplicando o desvio de 14,28%, temos uma previsão de 8.917 pessoas reais.

No entanto, a técnica aqui aplicada não será, em muitos casos, eficiente para prever exatamente a quantidade de pessoas numa região para um tempo futuro, apesar de alguns resultados terem apresentado erros inferiores a 15%.

Observando a troca de mensagens entre os sensores na Tabela 7, em que são somados os valores de cada “n” armazenado pelos *Alert* recebidos em R1 e os alarmes emitidos, pode ser feita uma análise mais detalhada:

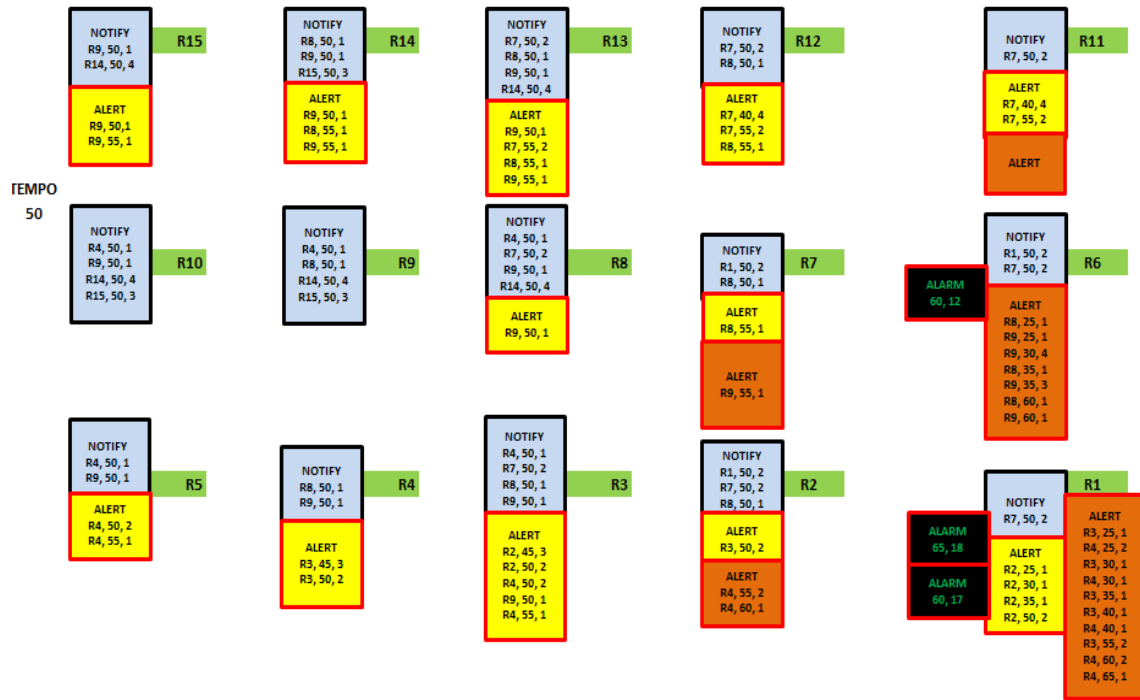
- Em $t(25)$, de acordo com a Figura 42 que representa a comunicação entre sensores neste instante, a previsão para $t(40)$ é de 9 pessoas e, portanto, alarmes não são disparados.

Figura 28. Previsão em t(25) para t(40)



- Em t(45), a) a previsão para t(50) é de 13 pessoas; b) a previsão para t(55) é de 15 pessoas; c) a previsão para t(60) é de 17 pessoas. Em todas essas previsões alarmes anunciando a formação de aglomeração de pessoas foram disparados, já que a região detectou 12 ou mais pessoas nesse momento.
- Em t(50), a) a previsão para t(55) é de 15 pessoas; b) a previsão para t(60) é de 17 pessoas; c) a previsão para t(65) é de 18 pessoas; d) a previsão para t(70) é de 18 pessoas. Em todas essas previsões alarmes anunciando a formação de aglomeração de pessoas foram disparados, já que a região detectou 12 ou mais pessoas nesse momento. A Figura 43 mostra a troca de mensagens neste instante e a previsão feita pela mensagem *Alarm*.

Figura 29. Mensagens Alarm no tempo t(50)



- Em t(55), a) a previsão para t(60) é de 17 pessoas; b) a previsão para t(65) é de 23 pessoas; c) a previsão para t(70) é de 23 pessoas. Em todas essas previsões alarmes anunciando a formação de aglomeração de pessoas foram disparados, já que a região detectou 12 ou mais pessoas nesse momento.
- Em t(60), a) a previsão para t(65) é de 15 pessoas; b) a previsão para t(70) é de 24 pessoas. Em todas essas previsões alarmes anunciando a formação de aglomeração de pessoas foram disparados, já que a região detectou 12 ou mais pessoas nesse momento.
- Em t(65), a previsão para t(70) é de 24 pessoas e também dispara alarme avisando sobre a formação de aglomeração de pessoas.

6.2 Resultados do Cenário 2: encontro de torcida

Neste cenário foi simulado o deslocamento de 100 pessoas, divididas em dois grupos de 50. A finalidade foi propiciar a simulação de um encontro de duas torcidas rivais, por exemplo, em um ponto da nossa RSSF, permitindo que ambos os grupos tivessem as mesmas condições de espaço e tempo para o deslocamento. Assim, a região R8 foi

escolhida para o encontro por estar geometricamente no meio da RSSF. Contudo, as reduções do espaço em que as pessoas transitaram pela RSSF até que atingissem o alvo e, conseqüentemente, a redução do número de sensores que trocaram mensagens para gerar a estimativa, promoveram desvios relativos maiores do que os do cenário 1, bem como uma redução no grau de antecipação para a estimativa do encontro. Levando em consideração os parâmetros mais relevantes para nossa análise de resultados, verificamos que alarmes falsos foram emitidos e isso confirma a necessidade de maiores estudos e ajustes na técnica aplicada pelo algoritmo.

Enquanto no cenário 2, cada pessoa passa pela área de cobertura de um, dois ou três sensores centrais, no cenário 1 a travessia pode ocorrer passando por um, ou até sete sensores centrais, dependendo da rota que a pessoa tomou até que chegasse ao portão. Isto significa que o algoritmo proposto atinge melhores resultados se aplicado à distâncias maiores do que os 80 metros a que estão submetidas as pessoas deste cenário. Essa medida equivale à metade do comprimento real do pátio de acesso, local onde a RSSF foi distribuída (Capítulo 4).

No entanto, a tendência de que as pessoas encontrem-se em R8 está correta e pode ser confirmada pela Tabela 9 e seus respectivos gráficos nas Figuras 44 e 45, já que elas caminham pela RSSF em busca desse ponto de encontro.

A Tabela 9 armazena a quantidade de pessoas detectadas por região, coluna (R), e de acordo com as janelas de tempo da simulação, coluna (t). Por exemplo, a linha que registra o tempo 50, informa que 22 pessoas são detectadas em R8. Da mesma forma, a coluna TOTAL acumula todas as pessoas que foram detectadas naquela janela de tempo e, no nosso exemplo, no tempo 50, foram detectadas 94 pessoas. Como temos um total de 100 pessoas simuladas neste cenário, pressupomos que as seis pessoas que não aparecem na coluna TOTAL desviaram a rota e não atingiram o alvo, ou ainda não entraram na área de detecção da RSSF, pelo menos até as 70 unidades de tempo simuladas.

Tabela 11. Quantidade de pessoas no cenário 2: tempo (t) x região (R)

(R) \ (t)	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	TOTAL
5	4	0	0	0	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
10	8	0	0	0	11	29	0	0	0	14	1	0	0	0	1	64

15	5	0	0	0	15	36	5	0	0	38	2	0	0	0	1	102
20	3	0	0	0	15	29	8	0	0	42	1	0	0	0	1	99
25	3	0	0	0	6	29	13	4	0	46	1	0	0	0	1	103
30	0	0	0	1	6	29	20	7	6	48	1	0	0	0	0	118
35	0	0	0	1	1	14	31	9	20	41	1	0	0	0	0	118
40	0	0	0	0	1	14	26	11	30	26	1	0	0	0	0	109
45	0	0	0	0	1	2	21	18	45	26	0	0	0	0	0	113
50	0	0	0	0	1	2	18	22	48	3	0	0	0	0	0	94
55	0	0	0	0	0	2	12	38	49	3	0	0	0	0	0	104
60	0	0	0	0	0	2	12	55	49	0	0	0	0	0	0	118
65	0	0	0	0	0	1	12	64	25	0	0	0	0	0	0	102
70	0	0	0	0	0	1	1	74	20	0	0	0	0	0	0	96

Figura 30. Gráfico das regiões no cenário 2 em colunas: Quant. Pessoas (n) x Tempo (t)

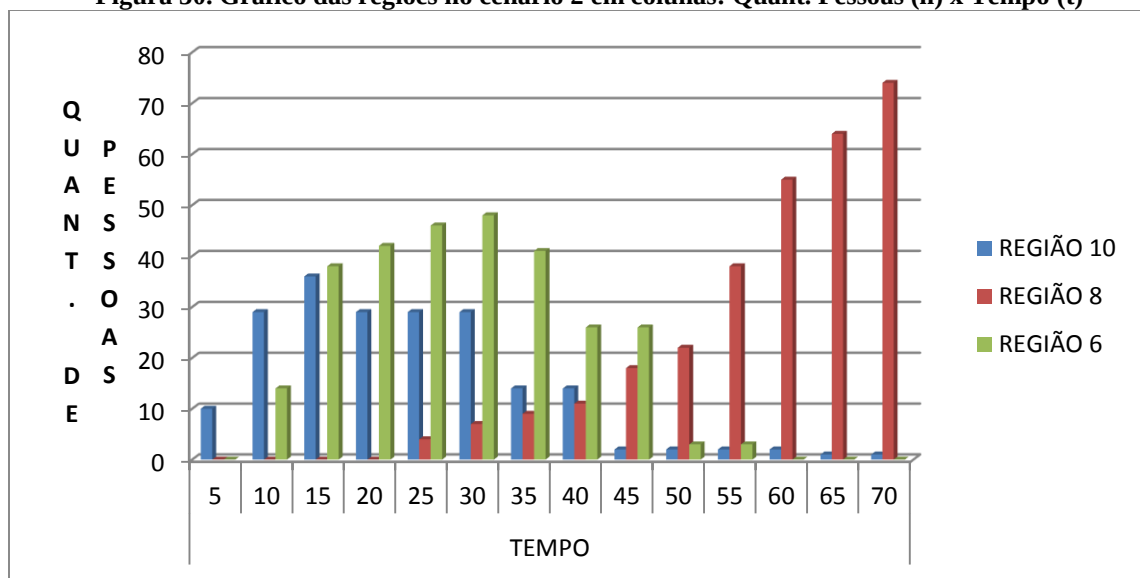
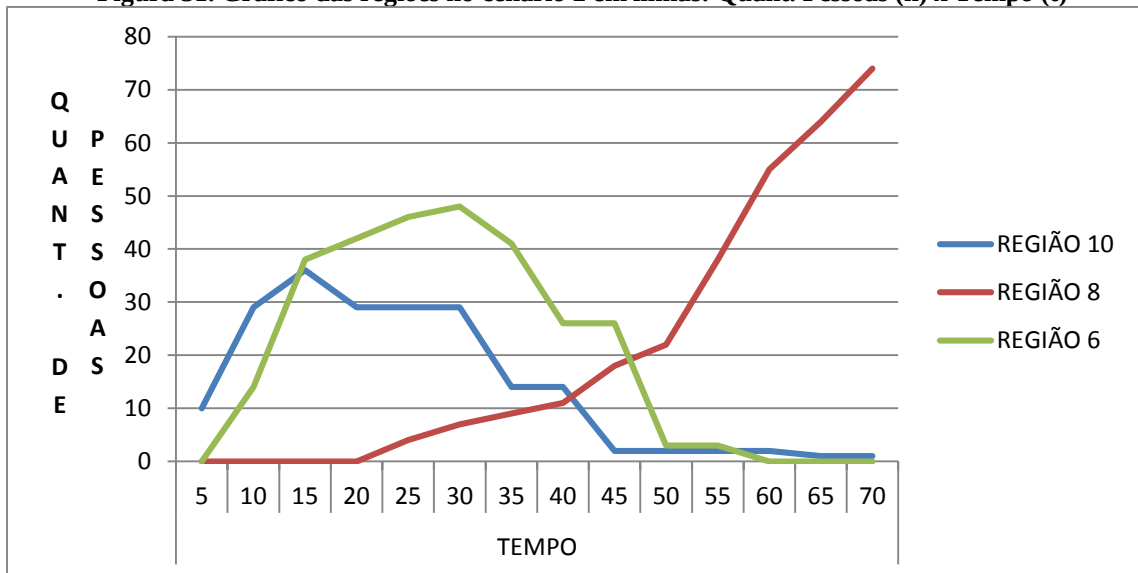


Figura 31. Gráfico das regiões no cenário 2 em linhas: Quant. Pessoas (n) x Tempo (t)



Os dados apresentados na Tabela 9 e nos gráficos das Figuras 44 e 45 constataam que as pessoas estão chegando de direções opostas à área observada e que o deslocamento dos dois grupos, realmente, culminou com um encontro na região R8, conforme a proposta para este cenário. É válido dizer que, apesar das pessoas chegarem à R8 e não prosseguirem na mesma direção que já vinham, o algoritmo continua suas estimativas e prevê que elas estarão em regiões à frente de onde se encontram.

A dinâmica da comunicação entre os sensores está expressa na Tabela 10 e suas colunas têm os mesmos significados das colunas da Tabela 7, conforme as respectivas descrições apresentadas no cenário 1.

Tabela 12. Troca de mensagens entre sensores do cenário 2

TEMPO	SENSOR	VAR	NOTIFY ARMAZENADO	NOTIFY ENVIADO	ALERT	DESTINO DO ALERT
15	R10	36-29=7	R5, 10, 1	R10, 15, 7	R10, 20, 7	R15
			R15, 10, 4			R5
	R5	2-1=1	R10, 10, 19	R5, 15, 1	R5, 20, 1	SUL
			R5, 10, 1			R13
	R9	5-0=5	R10, 10, 19	R9, 15, 5	R9, 20, 5	R8, R7, R6
			R15, 10, 4			R3
	R11	15-11=4	R6, 10, 14	R11, 15, 4	R11, 20, 4	NORTE
	R6	38-14=24	R1, 10, 1	R6, 15, 24	R6, 20, 24	R11
			R11, 10, 8			R1
20	R9	8-5=3	R5, 15, 1	R9, 20, 3	R9, 25, 3	R13
			R10, 15, 7			R8, R7, R6
	R6	42-38=4	R11, 15, 4	R6, 20, 4	R6, 25, 4	R1
35	R9	31-20=9	R8, 30, 3	R9, 35, 9	R9, 40, 9	R10
	R8	9-7=2	R7, 30, 6	R8, 35, 2	R8, 40, 2	R9, R10
			R9, 30, 7			R7, R6
			R12, 30, 1			R4
	R7	20-6=14	R6, 30, 2	R7, 35, 14	R7, 40, 14	R8, R9, R10
			R8, 30, 3			R6
			R12, 30, 1			R2

Para exemplificar:

- No tempo 15, o sensor R10 registra que houve variação de 7 pessoas a mais em sua região e envia uma mensagem *Notify* (R10, 15, 7) aos seus 8 vizinhos. Isso significa que, neste instante, ele tem 7 pessoas a mais em sua área. Esse sensor possui duas mensagens *Notify* armazenadas (R5, 10, 1 e R15, 10 4) e isso significa que no tempo anterior, tempo (10), os sensores R5 e R15 anunciaram que em suas áreas foram detectadas 1 e 4 pessoas a mais, respectivamente. Portanto, R5 e R15 avisaram aos seus 8 vizinhos (R10 é vizinho deles) do que estava acontecendo com eles, naquele instante. De acordo com os parâmetros do algoritmo que estima a formação de

grupos (vide Capítulo 5), R10 detectou variação para mais na quantidade de pessoas em sua área, no tempo atual (15) e, além disso, ele possui mensagens *Notify* armazenadas do tempo anterior enviadas por seus vizinhos localizados ao sul (R5) e ao norte (R15). Então, R10 envia uma mensagem *Alert* (R10, 20, 7) para seus vizinhos destinatários, localizados nos sentidos inversos de quem enviou o *Notify*, para o norte (R15) e para o sul (R5). Essa mensagem já é uma estimativa e ela prevê que, em uma janela de tempo à frente, tempo (20), aquelas regiões anunciadas nas mensagens (norte e sul) poderão receber 7 pessoas.

- Ainda no tempo 15, o sensor R9 registra que houve variação de 5 pessoas a mais em sua região e envia uma mensagem *Notify* (R9, 15, 5) aos seus 8 vizinhos. No entanto, esse sensor possui 3 mensagens *Notify* armazenadas do tempo anterior: (R5, 10, 1; R10, 10, 19 e R15, 10, 4). Como R9 possui mensagens *Notify* armazenadas e, além disso, detectou variação de mais 5 pessoas em sua área, ele deve enviar, pelo menos, 3 mensagens *Alert* para as regiões localizadas no sentido inverso de cada sensor que enviou o *Notify*. Assim, seguindo a ordem das mensagens *Notify* armazenadas, R9 envia a mensagem (R9, 20, 5) para R13, R8 e R3, respectivamente. Todas estas regiões agora sabem que há a estimativa de receberem 5 pessoa a mais em sua região, no tempo futuro (20). Em especial, a mensagem *Alert* enviada por R9 para R7 e R6 que aparece na coluna DESTINO DO ALERT junto à R8, faz parte do efeito de propagação que as mensagens *Alert* possuem. Ou seja, como R9 recebeu o *Notify* de seu vizinho à oeste (R10) e, na direção contrária (leste), há três sensores dentro dos limites da nossa RSSF (vide Capítulo 4) que são R8, R7 e R6. Então, R8 recebe a estimativa de 5 pessoas a mais para o tempo futuro (20). Incrementando o tempo em uma e duas janelas, tem-se, respectivamente, R7 e R6 estimando a chegada de 5 pessoas em sua região, no tempo (25) e (30). Caso houvesse mais um sensor nessa mesma direção, o tempo seria mais uma vez incrementado, agora para (35), e esse sensor também receberia essa estimativa de uma pessoa a mais deslocando nessa direção.

O tempo $t(15)$ foi inserido na Tabela 10 por ser o primeiro instante em que a região do ponto de encontro dos grupos (no caso, a R8) começa a armazenar as previsões do encontro das pessoas em sua área, através das mensagens *Alert* recebidas. Pela Tabela 10,

podemos observar esse fato, quando o sensor R9 envia *Alert* (e sua propagação). Pelo gráfico da Figura 45, na faixa de tempo $t(20)$, essa previsão é comprovada já que a região R8 inicia sua ascensão a partir desse instante.

Todas as trocas de mensagens ocorridas neste cenário, desde a janela de tempo (5) até a (70), estão presentes no Anexo desse trabalho.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos a partir das Tabelas 9 e 10, levando em consideração o intervalo de tempo observado e o desvio relativo calculado entre a quantidade prevista de pessoas para determinada região e a quantidade simulada de pessoas naquela região, detectadas no mesmo intervalo de tempo. As colunas dessa tabela têm os mesmos significados das colunas da Tabela 8, conforme as respectivas descrições apresentadas no cenário 1.

Tabela 13. Previsões do encontro de grupos de pessoas em R8 e sua margem de erro

TEMPO OBSERVADO	TEMPO PREVISTO	GRAU DE ANTECIPAÇÃO	“n” REAL	“n” PREVISTO	DESVIO ABSOLUTO	DESVIO RELATIVO (%)
20	25	$25-20 = 5$	4	8	$4-8 = -4$	50,00
25	30	$30-25 = 5$	7	8	$7-8 = -1$	14,28
35	40	$40-35 = 5$	11	22	$11-22 = -11$	50,00
40	45	$45-40 = 5$	18	22	$18-22 = -4$	22,22
45	50	$50-45 = 5$	22	22	$22-22 = 0$	0,00

O aspecto mais relevante na Tabela 11 está nos valores em negrito, nas colunas “n” Real e “n” Previsto. O algoritmo acerta nas previsões nos tempos $t(20)$ e $t(25)$, não emitindo alarmes de formação de aglomeração de pessoas. No entanto, no tempo $t(35)$ um alarme falso foi emitido no tempo previsto $t(40)$, por ter sido detectado mais que 12 pessoas em R8, naquele tempo. O fato é que a quantidade real de pessoas está abaixo deste valor, confirmando que o alarme não deveria ser emitido. Isso demonstra que a técnica aplicada pelo algoritmo acertou em algumas previsões, mas errou ao anunciar formação de aglomeração onde não deveria e, por isso, enviou alarmes falsos.

O tempo $t(35)$, além de registrar a emissão de alarme falso, foi inserido na Tabela 11 por ser o instante em que a quantidade de pessoas que chegam às regiões R10 e R6, extremidades da RSSF, diminui. Esse fato é justificado pelo gráfico da Figura 44, na faixa de tempo $t(35)$.

Já nos tempos $t(40)$ e $t(45)$, o algoritmo emite alarmes corretos de formação de aglomeração de pessoas.

Se a quantidade de pessoas que chegam à área de cobertura da RSSF está diminuindo e, ao contrário disso, essa quantidade está aumentando em R8, isso comprova que as pessoas realmente dirigem-se a R8. Ao chegarem lá, elas não continuam seu deslocamento previsto pelo algoritmo. No entanto, a propagação das mensagens *Alert* é uma ação natural do algoritmo e tanto geram mensagens *Alarm*, como estimativas de formação de grupos em suas áreas. Nesse caso, devem ser interpretadas como uma falsa previsão e não, como erro do algoritmo. Na verdade, as quantidades anunciadas pelas mensagens *Alarm* deveriam ter sido dadas por R8.

Fazendo uma referência ao tempo $t(25)$ da Tabela 11, na linha Tempo Previsto = 30, foi aplicada a mesma comparação feita no cenário 1, para que se tenha uma noção melhor da situação com números próximos do real. Para fazer isso, foi utilizado o mesmo fator de proporcionalidade calculado no Capítulo 5 (0,002018 ou 0,201884%). Portanto, se 12 objetos pessoa correspondem a 5.944 pessoas reais, e como a quantidade real simulada neste instante foi de 7 objetos pessoa, então o público real seria de 3.467 pessoas. Aplicando o desvio de 14, 28%, tem-se uma previsão de 3.962 pessoas reais.

Portanto, reforça-se o que foi dito no cenário 1 e fica esclarecido que a técnica aqui aplicada não será, em muitos casos, eficiente para prever exatamente a quantidade de pessoas numa região para um tempo futuro, apesar de alguns resultados terem apresentado erros inferiores a 15%.

Observando a troca de mensagens entre os sensores na Tabela 10, em que são somados os valores de cada “n” armazenado pelos *Alert* recebidos em R8 e os alarmes emitidos, pode ser feita uma análise mais detalhada:

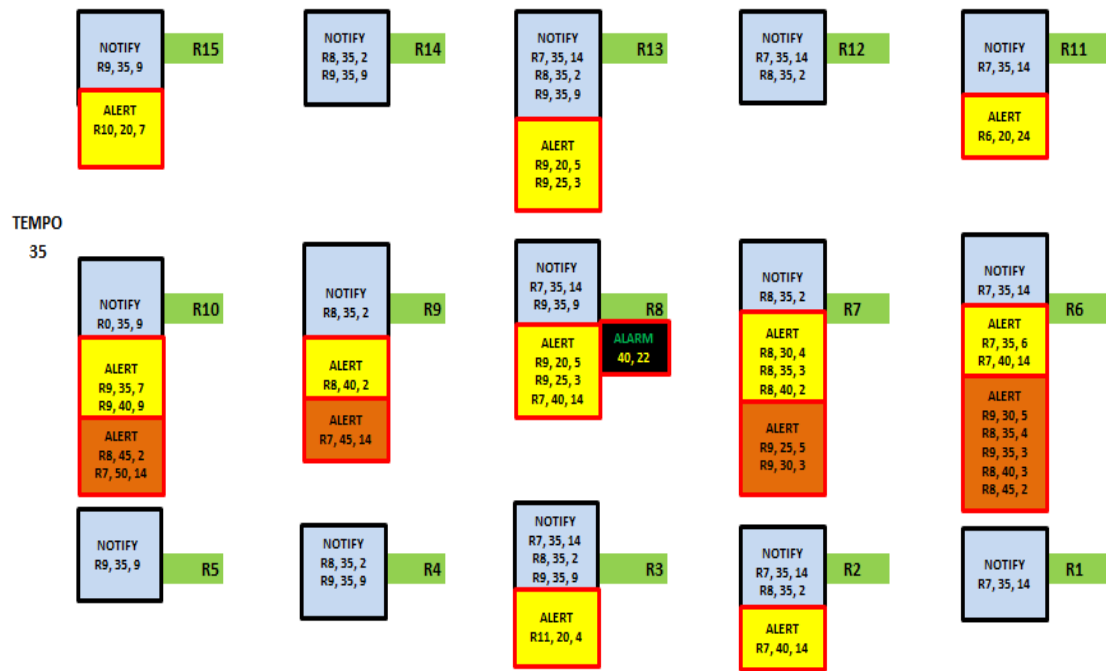
- Em $t(20)$, de acordo com a Figura 44 que representa a comunicação entre sensores neste instante, a previsão para $t(25)$ é de 4 pessoas e, corretamente, não há emissão de alarmes.
- Em $t(25)$, a previsão para $t(30)$ é de 7 pessoas e, corretamente, não há emissão de alarmes.

Figura 32. Mensagens *Alarm* no tempo $t(20)$



- Em $t(35)$, a previsão para $t(40)$ é de 22 pessoas, no entanto, há um falso alarme disparado para o tempo $t(40)$. A Figura 47 mostra a troca de mensagens neste instante e a previsão feita pela mensagem *Alarm*.
- Em $t(40)$, a previsão para $t(45)$ é de 22 pessoas e, em $t(45)$, a previsão para $t(50)$ é de 22 pessoas. Nestes dois momentos, suas previsões anunciam corretamente a formação de aglomeração de pessoas.

Figura 33. Mensagens *Alarm* no tempo $t(35)$



7 Considerações Finais

Neste trabalho, foi apresentado um algoritmo aplicado a uma Rede de Sensores sem Fio que estima a formação de grupos de pessoas em determinada região, tendo utilizado o próprio poder de comunicação entre os sensores como o principal parâmetro para o seu desenvolvimento. O projeto transcorreu em ambiente simulado, analisando o deslocamento de pessoas exatamente para que o algoritmo fosse ajustado, à medida que os testes eram realizados. A ideia deste projeto de simular situações reais não é inovadora, porém foi um trabalho desafiante, diante da complexidade de prever o deslocamento de seres humanos em um ambiente que envolve um grande público e em condições críticas de aglomeração. Mesmo assim, foram idealizadas e simuladas pessoas com tipos de movimento diferente para que tivessem características mais próximas do ambiente real.

Dessa forma, as estimativas encontradas demonstram que o algoritmo tem uma boa técnica de previsão de formação de aglomeração de pessoas, tendo emitido vários alarmes que foram disparados de forma correta. No cenário 1 não houve nenhuma emissão de alarmes falsos e, no cenário 2, o número de emissões falsas foi muito pequeno.

Os alarmes falsos emitidos no cenário 2 são justificados pela proximidade em que foi posicionado o alvo (*target*) de orientação dos objetos pessoa, pois eles atravessam apenas dois sensores centrais até que atinjam a região em que ele está. Provavelmente, se o comprimento tivesse dimensões iguais as do cenário 1, haveria um número maior de sensores envolvidos na troca de mensagens e, conseqüentemente, o volume de dados veiculados na rede seria mais intenso, a ponto de melhorar os resultados.

A ideia proposta para a localização da rede no pátio de acesso do Engenhão foi escolhida por tratar-se de um local plano e sem muitas barreiras que dificultassem a locomoção das pessoas e, por essa razão, foi classificado como um excelente local de aplicação do algoritmo. No entanto, a rede pode ser implantada e o algoritmo pode ser usado em vários ambientes e situações dentro do estádio, sem afetar a eficiência do mesmo.

Os resultados e margens de erros apontados são considerados bastante relevantes e satisfatórios para esta pesquisa, tendo em vista toda dificuldade encontrada para estimar a posição de um objeto em movimento, para um tempo futuro. Principalmente, quando se

trata de um ser humano que pode, a qualquer instante ou circunstância, mudar completamente a forma, a direção e o sentido de seu deslocamento.

É válido dizer que não idealizamos objetos cujo tipo de movimento fosse completamente previsível, já que em Sarmady (2010) vimos que diferentes padrões de movimento podem ser observados em movimentos de pedestres. Mesmo que tenhamos definido três tipos de movimento que um objeto pessoa poderia desenvolver, algumas pessoas inseridas nas simulações não chegaram a atingir o alvo (*target*) definido em cada cenário. Isto demonstra que algumas delas podem ter tomado um caminho diferente do alvo.

É válido dizer que os dados coletados ao longo de toda a simulação e os resultados alcançados podem beneficiar significativamente a tomada de decisões diante de situações consideradas de risco. Pelos resultados alcançados, entendemos que as ideias aqui propostas têm utilidade para vida humana, principalmente, se elas puderem evitar tragédias, emitindo alertas (para centrais de segurança, por exemplo) sobre a possibilidade do surgimento de condições críticas e que podem gerar situações emergenciais quanto à formação de grandes aglomerados de pessoas.

A proposta de utilizar no ambiente simulado uma RSSF para realizar essa estimativa também tem no fator custo uma grande relevância, pois tivemos a oportunidade de proporcionar testes em condições críticas que, em um ambiente real, seria completamente desfavorável impor tal risco, principalmente, se pessoas reais estivessem sujeitas a essas condições.

Contudo, os resultados encontrados ao final deste trabalho tornaram as dificuldades que surgiram ao longo da sua elaboração uma satisfação pessoal e profissional. Por isso, cada minuto de esforço aqui dedicado já foi imensamente recompensado.

7.1 Sugestão para trabalhos futuros

O trabalho aqui descrito obteve o alcance esperado, porém devemos dizer que encontramos limitações para a realização do mesmo, mas que transformamos em propostas de melhorias em trabalhos futuros. Por exemplo:

- Modificar o algoritmo para detectar a parada de pessoas numa determinada região;

- Testar com mais modelos (exemplos) para que possamos aprofundar e propor uma técnica mais precisa;
- Implementar o algoritmo em outros simuladores (como OMNeT++ e NS-2 para simular a rede e o SystemC para simular o hardware, por exemplo) para confrontar o resultado e obter dados sobre o desempenho e uso da rede, além de outros protocolos além do ZigBee;
- Testar o algoritmo sendo executado em sensores reais com microcontroladores, ou dispositivos específicos para redes de sensores sem fio.

Referências

- ABNT-NBR 9050/2004. **Guia prático de acessibilidade**. Disponível em: <<http://www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/Cartilhas/GuiaPraticoDeAcessibilidade.pdf>> Acesso em: 08 de jan 2013.
- Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito. Disponível em: <http://vias-seguras.com/infra_estrutura/engenharia_rodoviaria/travessias_urbanas/manual_de_projet_o_geometrico_de_travessias_urbanas/infra_estruturas_para_pedestres_caracteristicas_gerais> Acesso em: 02 de jan. 2013.
- BALDWIN, P. et al. **VisualSense: Visual Modeling for Wireless and Sensor Network Systems**. Disponível em: <<http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/papers/05/visualsense/visualsense.pdf>> Acesso em: 20 de out 2011.
- BRITO, Alisson Vasconcelos de. **Modelagem e Simulação de Sistemas Dinamicamente Reconfiguráveis em Granularidades Diversas**. Campina Grande: UFCG, 2008. 125p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2008.
- BROOKS, C. et al. **Ptolemy II, Heterogeneous Concurrent Modeling and Design in Java**. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences. University of California at Berkeley, Julho de 2005. Disponível em: <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu>. Acesso em: 20 de jun. 2012.
- CASTAÑO, B.; RODRIGUEZ-MORENO, M. **A ZigBee and RFID Hybrid System for People Monitoring and Helping inside Large Buildings**. IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA), 2010.
- CHENG, J. **Testing and Debugging Persistent Computing Systems: A New Challenge in Ubiquitous Computing**. IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, 2008.
- DARGIE, W.; POELLABAUER, C. **Fundamentals of Wireless Sensor Network: theory and practice**. 1ed. Wiley, 2010. 331p.
- Departamento de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação. Disponível em: <<http://chess.eecs.berkeley.edu/>> Acesso em: 2 de jun. 2012.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_proj_geom_de_trav_urbanas_publ_ipr_740.pdf> Acesso em: 06 de jan. 2013.
- EGEA-LÓPEZ, E. et al. **Simulation Tools for Wireless Sensor Networks**. Summer Simulation Multiconference, SPECTS 2005.
- ELLIOT, J. R. et al. **Pedestrian head translation, rotation and impact velocity: The influence of vehicle speed, pedestrian speed and pedestrian gait**. Accident Analysis And Prevention, Vol.45, pp.342-353 – Web of Science, 2012.

- FALUDI, Robert. **Building Wireless Sensor Network**. 1ed O'Reilly, 2010.
- FINKENZELLER, K. **RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification**. Translate by Rachel Waddington. Munich, Germany: 2ed Wiley, 2003.
- GLASER, J. et al. **Power Aware Simulation Framework for Wireless Sensor Network and Nodes**. EURASIP Journal on Embedded Systems, V. 2008, 2008.
- GOOGLE EARTH. Disponível em: < <http://earth.google.com/>> Acesso em: 12 de fev. 2012.
- GTA. Grupo de Teleinformática e Automação. UFRJ. Disponível em: < http://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/rfid/RFID_arquivos/como%20funciona.htm> Acesso em: 01 ago. 2012.
- GTA. Grupo de Teleinformática e Automação. UFRJ. Disponível em: < http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/rssf/protocolos.html> Acesso em: 20 dez. 2012.
- GTA. Grupo de Teleinformática e Automação. UFRJ. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/introducao.html> Acesso em: 02 jan. 2013.
- IEEE. Institute of Electrical and Electronic Engineers. Disponível em: <<http://www.ieee.org/>> Acesso em: 20 de jan. 2012.
- LEE, D., KIM, S.; KIM, H.; PARK, N. **Mobile Platform for Networked RFID Applications**. IEEE Seventh International Conference on Information Technology (ITNG), 2010.
- LEE, E. A. **The Ptolemy Project**. Disponível em: <<http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII/ptII8.0/index.htm>> Acesso em: 12 de out. 2011.
- LI, J. –S.; KAO, H. –C. **Distributed K-coverage self-location estimation scheme based on Voronoi diagram**. IET Communications, 2010.
- LIBATIQUE, N.J.C. et al. **Design of a tropical rain – Disaster alarm system: A new approach based on wireless sensor networks and acoustic rain rate measurements**. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, I2MTC. 2009.
- MARIN-PERIANU, R. S. **Wireless Sensor Network in Motion: Clustering Algorithms for Service Discovery and Provisioning**. Doctoral Thesis. University Twente, 2008.
- MITTAL, R.; BHATIA, M.P.S. **Wireless Sensor Networks for monitoring the environmental activities**. IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), Vol. pp. 1 – 5, 2010.
- MUNIR, S. A. et al. **Mobile Wireless Sensor Network: Architecture and Enabling Technologies for Ubiquitous Computing**. IEEE 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07), 2007.
- SARMADY, S.; HARON, F.; TALIB A. Z. **Simulating Crowd Movements Using Fine Grid Cellular Automata**. IEEE 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation, 2010.

SHARMA, M.; SIDDIQUI, A. **RFID Based Mobiles: Next Generation Applications**. The 2nd IEEE Internacional Conference on Information Management and Engineering (ICIME), 2010.

SONG, Chau-Chung et al. **Simulation and Experimental Analysis of a ZigBee Sensor Network with Fault Detection and Reconfiguration Mechanism**. IEEE 8th Asian Control Conference (ASCC), 2011.

SUN, W. et al. **Range-based Localization for Estimating Pedestrian Trajectory in Intersection with Roadside Anchors**. IEEE Vehicular Networking Conference. 2009. Universidade da Califórnia em Berkeley. Disponível em: < <http://www.berkeley.edu/>> Acesso em: 2 de jun. 2012.

YUEQING, R.; LIXIN, X. **A Study on Topological Characteristics of Wireless Sensors Network Based on Complex Network**. IEEE International Conference on Computer Application and System Modeling, Vol. 15, pp. V15-486 – V15-489, 2010.

ZHANG, Y. et al. **Cluster-based Error Messages Detecting and Processing for Wireless Sensor Network**. IEEE International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008.

ZIGBEE-ALLIANCE. (2012). Disponível em: <<http://zigbee.org/>> Acesso em: 05 de out. 2012.

ZOBEL, R. **Some Thoughts on the Problems of Modelling and Simulations of Large Scale Natural Events**. IEEE 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSIM), 2010.

Apêndice A – Troca de Mensagens

A execução do algoritmo que estima a formação de grupos em determinada região, gerou muitos dados que foram armazenados na Tabela A1 e Tabela A2. Partes dessas tabelas foram apresentadas no capítulo 7 e retrataram os resultados obtidos nos cenários 1 e 2.

Tabela A1. Troca de mensagens entre sensores do cenário 1

TEMPO	SENSOR	VAR	NOTIFY ARMAZENADO	NOTIFY ENVIADO	ALERT	DESTINO DO ALERT
5	R15	3-0=3	-	R15, 5, 3	-	-
	R10	2-0=2	-	R10, 5, 2	-	-
	R5	4-0=4	-	R5, 5, 4	-	-
	R14	3-0=3	-	R14, 5, 3	-	-
10	R15	4-3=1	R10, 5, 2	R15, 10, 1	R15, 15, 1	NORTE
			R14, 5, 3			OESTE
	R10	3-2=1	R15, 5, 3	R10, 10, 1	R10, 15, 1	R5
			R5, 5, 4			R15
			R14, 5, 3			SUDOESTE
	R5	5-4=1	R10, 5, 2	R5, 10, 1	R5, 15, 1	SUL
	R14	7-3=4	R15, 5, 3	R14, 10, 4	R14, 15, 4	R13, R12, R11
			R10, 5, 2			NORDESTE
	R9	1-0=1	R15, 5, 3	R9, 10, 1	R9, 15, 1	R3
			R10, 5, 2			R8, R7, R6
			R5, 5, 4			R13
			R14, 5, 3			R4
	R4	2-0=2	R10, 5, 2	R4, 10, 2	R4, 15, 2	SUDESTE
			R5, 5, 4			R3, R2, R1
	R3	1-0=1	-	R3, 10, 1	-	-
15	R10	5-3=2	R4, 10, 2	R10, 15, 2	R10, 20, 2	NOROESTE
			R5, 10, 1			R15
			R9, 10, 1			OESTE
			R14, 10, 4			SUDOESTE
			R15, 10, 1			R5

	R14	10-7=3	R9, 10, 1	R14, 15, 3	R14, 20, 2	NORTE
			R10, 10, 1			NORDESTE
			R15, 10, 1			R13, R12, R11
	R9	5-1=4	R3, 10, 1	R9, 15, 4	R9, 20, 4	R15
			R4, 10, 2			R14
			R5, 10, 1			R13
			R10, 10, 1			R8, R7, R6
			R14, 10, 4			R4
			R15, 10, 1			R3
	R4	3-2=1	R3, 10, 1	R4, 15, 1	R4, 20, 1	R5
			R5, 10, 1			R3, R2, R1
			R9, 10, 1			SUL
			R10, 10, 1			SUDESTE
	R13	2-0=2	R9, 10, 1	R13, 15, 2	R13, 20, 2	NORDESTE
			R14, 10, 4			R12, R11
	R8	1-0=1	R3, 10, 1	R8, 15, 1	R8, 20, 1	R13
			R4, 10, 2			R12
			R9, 10, 1			R7, R6
			R14, 10, 4			R2
	R3	2-1=1	R4, 10, 2	R3, 15, 1	R3, 20, 1	R2, R1
			R9, 10, 1			SUDESTE
	R7	1-0=1	R3, 10, 1	R7, 15, 1	R7, 20, 1	R11
	R2	1-0=1	R3, 10, 1	R2, 15, 1	R2, 20, 1	R1
20	R15	5-2=3	R9, 15, 4	R15, 20, 3	R15, 25, 3	NOROESTE
			R10, 15, 2			NORTE
			R14, 15, 3			OESTE
	R5	3-2=1	R4, 15, 1	R5, 20, 1	R5, 25, 1	OESTE
			R9, 15, 4			SUDOESTE
			R10, 10, 1			SUL
	R9	8-5=3	R3, 15, 1	R9, 20, 3	R9, 25, 3	R15
			R4, 15, 1			R14
			R8, 15, 1			R10

			R10, 15, 2			R8, R7, R6
			R13, 15, 2			R5
			R14, 15, 3			R4
	R4	11-3=8	R3, 15, 1	R4, 20, 8	R4, 25, 8	R5
			R8, 15, 1			SUDOESTE
			R9, 15, 4			SUL
			R10, 10, 1			SUDESTE
	R3	3-2=1	R2, 15, 1	R3, 20, 1	R3, 25, 1	R4, R5
			R4, 15, 1			R2, R1
			R7, 15, 1			SUDOESTE
			R8, 15, 1			SUL
			R9, 15, 4			SUDESTE
	R2	2-1=1	R3, 15, 1	R2, 20, 1	R2, 25, 1	R1
			R7, 15, 1			SUL
			R8, 15, 1			SUDESTE
	R1	2-0=2	R2, 15, 1	R1, 20, 2	R1, 25, 2	LESTE
			R7, 15, 1			SUDESTE
25	R15	6-5=1	R9, 20, 3	R15, 25, 1	R15, 30, 1	NOROESTE
	R5	4-3=1	R4, 20, 8	R5, 25, 1	R5, 30, 1	OESTE
			R9, 20, 3			SUDOESTE
	R9	9-8=1	R3, 20, 1	R9, 25, 1	R9, 30, 1	R15
			R4, 20, 8			R14
			R5, 20, 1			R13
			R15, 20, 3			R3
	R4	12-11=1	R3, 20, 1	R4, 25, 1	R4, 30, 1	R5
			R5, 20, 1			R3, R2, R1
			R9, 20, 3			SUL
	R8	3-0=3	R2, 20, 1	R8, 25, 1	R8, 30, 1	R14
			R3, 20, 1			R13
			R4, 20, 8			R12
			R9, 20, 3			R7, R6
	R3	4-3=1	R2, 20, 1	R3, 25, 1	R3, 30, 1	R4, R5

			R4, 20, 8			R2, R1
			R9, 20, 3			SUDESTE
	R2	3-2=1	R1, 20, 2	R2, 25, 1	R2, 30, 1	R3, R4, R5
			R3, 20, 1			R1
	R1	3-2=1	R2, 20, 1	R1, 25, 1	R1, 30, 1	LESTE
30	R3	5-4=1	R2, 25, 1	R3, 30, 1	R3, 35, 1	R4, R5
			R4, 25, 1			R2, R1
			R8, 25, 1			SUL
			R9, 25, 1			SUDESTE
	R7	3-0=3	R1, 25, 1	R7, 30, 1	R7, 35, 1	R13
			R2, 25, 1			R12
			R3, 25, 1			R11
			R8, 25, 1			R6
	R2	4-3=1	R1, 25, 1	R2, 30, 1	R2, 35, 1	R3, R4, R5
			R3, 25, 1			R1
			R8, 25, 1			SUDESTE
	R1	5-3=2	R2, 25, 1	R1, 30, 2	R1, 35, 2	LESTE
35	R15	1-0=1	-	-	-	-
	R10	1-0=1	-	-	-	-
	R5	5-4=1	-	-	-	-
	R14	1-0=1	-	-	-	-
	R9	5-1=4	R3, 30, 1	R9, 35, 4	R9, 40, 4	R15
	R8	6-0=6	R2, 30, 1	R8, 35, 6	R8, 40, 6	R14
			R3, 30, 1			R13
	R7	7-3=4	R1, 30, 2	R7, 35, 4	R7, 40, 4	R13
			R2, 30, 1			R12
			R3, 30, 1			R11
	R2	5-4=1	R1, 30, 2	R2, 35, 1	R2, 40, 1	R3, R4, R5
			R3, 30, 1			R1
			R7, 30, 1			SUL
	R1	6-5=1	R2, 30, 1	R1, 35, 1	R1, 40, 1	LESTE
			R7, 30, 1			SUDESTE

40	R15	2-1=1	R9, 35, 4	R15, 40, 1	R15, 45, 1	NOROESTE
	R10	3-1=2	R9, 35, 4	R10, 40, 2	R10, 45, 2	OESTE
	R5	7-5=2	R9, 35, 4	R5, 40, 2	R5, 45, 2	SUDOESTE
	R4	4-0=4	R8, 35, 6	R4, 40, 4	R4, 45, 4	SUDOESTE
			R9, 35, 4			SUL
	R3	3-0=3	R2, 35, 1	R3, 40, 3	R3, 45, 3	R4, R5
			R7, 35, 4			SUDOESTE
			R8, 35, 6			SUL
			R9, 35, 4			SUDESTE
	R2	8-5=3	R1, 35, 1	R2, 40, 3	R2, 45, 3	R3, R4, R5
			R7, 35, 4			SUL
			R8, 35, 6			SUDESTE
	R6	5-4=1	R1, 35, 1	R6, 40, 1	R6, 45, 1	NORTE
			R2, 35, 1			NORDESTE
			R7, 35, 4			LESTE
	R1	8-6=2	R2, 35, 1	R1, 40, 2	R1, 45, 1	LESTE
			R7, 35, 4			SUDESTE
45	R5	8-7=1	R4, 40, 4	R5, 45, 1	R5, 50, 1	OESTE
			R10, 40, 2			SUL
	R9	2-1=1	R3, 40, 3	R9, 45, 1	R9, 50, 1	R15
			R4, 40, 4			R14
			R5, 40, 2			R13
			R10, 40, 2			R8, R7, R6
			R15, 40, 1			R3
	R4	6-4=2	R3, 40, 3	R4, 45, 2	R4, 50, 2	R5
			R5, 40, 2			R3, R2, R1
			R10, 40, 2			SUDESTE
	R3	5-3=2	R2, 40, 3	R3, 45, 2	R3, 50, 2	R4, R5
			R4, 40, 4			R2, R1
	R2	9-8=1	R1, 40, 2	R2, 45, 2	R2, 50, 2	R3, R4, R5
			R3, 40, 3			R1
			R6, 40, 1			SUDOESTE

	R1	13-8=5	R2, 40, 3	R1, 45, 5	R1, 50, 5	LESTE
			R6, 40, 1			SUL
50	R15	3-0=3	R9, 45, 1	R15, 50, 3	R15, 55, 3	NOROESTE
	R14	4-0=4	R9, 45, 1	R14, 50, 4	R14, 55, 4	NORTE
	R9	3-2=1	R3, 45, 2	R9, 50, 1	R9, 55, 1	R15
			R4, 45, 2			R14
			R5, 45, 1			R13
	R4	7-6=1	R3, 45, 2	R4, 50, 1	R4, 55, 1	R5
			R5, 45, 1			R3, R2, R1
			R9, 45, 1			SUL
	R8	3-2=1	R2, 45, 2	R8, 50, 1	R8, 55, 1	R14
			R3, 45, 2			R13
			R4, 45, 2			R12
			R9, 45, 1			R7, R6
	R7	2-0=2	R1, 45, 5	R7, 50, 2	R7, 55, 2	R13
			R2, 45, 2			R12
			R3, 45, 2			R11
	R1	15-13=2	R2, 45, 2	R1, 50, 2	R1, 55, 2	LESTE
55	R10	1-0=1	R4, 50, 1	R10, 55, 1	R10, 60, 1	NOROESTE
			R9, 50, 1			OESTE
			R14, 50, 4			SUDOESTE
			R15, 50, 3			R5
	R5	4-3=1	R4, 50, 1	R5, 55, 1	R5, 60, 1	OESTE
			R9, 50, 1			SUDOESTE
	R3	5-0=5	R4, 50, 1	R3, 55, 5	R3, 60, 5	R2, R1
			R7, 50, 2			SUDOESTE
			R8, 50, 1			SUL
			R9, 50, 1			SUDESTE
	R7	3-2=1	R1, 50, 2	R7, 55, 1	R7, 60, 1	R13
			R8, 50, 1			R6
	R2	7-5=2	R1, 50, 2	R2, 55, 2	R2, 60, 2	R3, R4, R5
			R7, 50, 2			SUL

			R8, 50, 1			SUDESTE
	R6	3-2=1	R1, 50, 2	R6, 55, 1	R6, 60, 1	R11
			R7, 50, 2			LESTE
	R1	16-15=1	R7, 50, 2	R1, 55, 1	R1, 60, 1	SUDESTE
60	R4	1-0=1	R3, 55, 5	R4, 60, 1	R4, 65, 1	R5
			R5, 55, 1			R3, R2, R1
			R10, 55, 1			SUDESTE
	R7	8-3=5	R1, 55, 1	R7, 60, 5	R7, 65, 5	R13
			R2, 55, 2			R12
			R3, 55, 5			R11
			R6, 55, 1			R8, R9, R10
	R2	8-7=1	R1, 55, 1	R2, 60, 1	R2, 65, 1	R3, R4, R5
			R3, 55, 5			R1
			R6, 55, 1			SUDOESTE
			R7, 55, 1			SUL
	R6	4-1=1	R1, 55, 1	R6, 60, 1	R6, 65, 1	R11
			R2, 55, 2			NORDESTE
			R7, 55, 1			LESTE
	R1	20-16=4	R2, 55, 2	R1, 60, 4	R1, 65, 4	LESTE
			R6, 55, 1			SUL
			R7, 55, 1			SUDESTE
65	R4	3-1=2	-	-	-	-
	R3	4-3=1	R2, 60, 1	R3, 65, 1	R3, 70, 1	R4, R5
			R4, 60, 1			R2, R1
			R7, 60, 5			SUDOESTE
	R2	11-8=3	R1, 60, 4	R2, 65, 3	R2, 70, 3	R3, R4, R5
			R6, 60, 1			SUDOESTE
			R7, 60, 5			SUL
	R1	21-20=1	R2, 60, 1	R1, 65, 1	R1, 70, 1	LESTE
			R6, 60, 1			SUL
			R7, 60, 5			SUDESTE
70	R3	5-4=1	-	-	-	-

	R2	14-11=3	R3, 65, 1	R2, 70, 3	R2, 75, 3	R1
	R6	6-1=5	-	-	-	-

Tabela A2. Troca de mensagens entre sensores do cenário 2

TEMPO	SENSOR	VAR	NOTIFY ARMAZENADO	NOTIFY ENVIADO	ALERT	DESTINO DO ALERT
5	R15	4-0=4	-	R15, 5, 4	-	-
	R10	10-0=10	-	R10, 5, 10	-	-
	R11	3-0=3	-	R11, 5, 3	-	-
10	R15	8-4=4	R10, 5, 10	R15, 10, 4	R15, 15, 4	NORTE
	R10	29-10=19	R15, 5, 4	R10, 10, 19	R10, 15, 19	R5
	R11	11-3=8	-	R11, 10, 8	-	-
	R6	14-0=14	R11, 5, 3	R6, 10, 14	R6, 15, 14	R1
	R1	1-0=1	-	R1, 10, 1	-	-
	R5	1-0=1	R10, 5, 10	R5, 10, 1	R5, 15, 1	SUL
15	R10	36-29=7	R5, 10, 1	R10, 15, 7	R10, 20, 7	R15
			R15, 10, 4			R5
	R5	2-1=1	R10, 10, 19	R5, 15, 1	R5, 20, 1	SUL
	R9	5-0=5	R5, 10, 1	R9, 15, 5	R9, 20, 5	R13
			R10, 10, 19			R8, R7, R6
			R15, 10, 4			R3
	R11	15-11=4	R6, 10, 14	R11, 15, 4	R11, 20, 4	NORTE
	R6	38-14=24	R1, 10, 1	R6, 15, 24	R6, 20, 24	R11
			R11, 10, 8			R1
20	R9	8-5=3	R5, 15, 1	R9, 20, 3	R9, 25, 3	R13
			R10, 15, 7			R8, R7, R6
	R6	42-38=4	R11, 15, 4	R6, 20, 4	R6, 25, 4	R1
25	R9	13-8=5	-	R9, 25, 5	-	-
	R8	4-0=4	R9, 20, 3	R8, 25, 4	R8, 30, 4	R7, R6
	R6	46-42=4	-	R6, 25, 4	-	-
30	R9	20-13=7	R8, 25, 4	R9, 30, 7	R9, 35, 7	R10
	R8	7-4=3	R9, 25, 5	R8, 30, 3	R8, 35, 3	R7, R6
	R12	1-0=1	R6, 25, 4	R12, 30, 1	R12, 35, 1	NOROESTE
			R8, 25, 4			NORDESTE

	R7	6-0=6	R6, 25, 4	R7, 30, 6	R7, 35, 6	R8, R9, R10
			R8, 25, 4			R6
	R6	48-46=2	-	R6, 30, 2	-	-
35	R9	31-20=9	R8, 30, 3	R9, 35, 9	R9, 40, 9	R10
	R8	9-7=2	R7, 30, 6	R8, 35, 2	R8, 40, 2	R9, R10
			R9, 30, 7			R7, R6
			R12, 30, 1			R4
	R7	20-6=14	R6, 30, 2	R7, 35, 14	R7, 40, 14	R8, R9, R10
			R8, 30, 3			R6
			R12, 30, 1			R2
	R8	11-9=2	R7, 35, 14	R8, 40, 2	R8, 45, 2	R9, R10
			R9, 35, 9			R7, R6
	R7	30-20=10	R8, 35, 2	R7, 40, 10	R7, 45, 10	R6
45	R8	18-11=7	R7, 40, 10	R8, 45, 7	R8, 50, 7	R9, R10
	R7	45-30=15	R8, 40, 2	R7, 45, 15	R7, 50, 15	R6
50	R8	22-18=4	R7, 45, 15	R8, 50, 4	R8, 55, 4	R9, R10
	R7	48-45=3	R8, 45, 7	R7, 50, 3	R7, 55, 3	R6
55	R8	38-22=16	R7, 50, 3	R8, 55, 16	R8, 60, 16	R9, R10
	R7	49-48=1	R8, 50, 4	R7, 55, 1	R7, 60, 1	R6
60	R8	55-38=17	R7, 55, 1	R8, 60, 17	R8, 65, 17	R9, R10
65	R8	64-55=9	-	R8, 65, 9	-	-
70	R8	74-64=10	-	R8, 70, 10	-	-

Apêndice B – Ambiente de Simulação Ptolemy II

Atualmente, há muitas aplicações para RSSF's e uma questão bastante discutida é o custo de implantação de seus projetos. Neste sentido, já existem algumas alternativas para a verificação e testes, em ambiente de simulação, da situação e das condições em que se pretende implantar uma rede.

Uma das alternativas é o Ptolemy II⁵, um framework baseado em Java utilizado para a implementação do ambiente de testes e desenvolvido na Universidade da Califórnia – Berkeley.

O software Ptolemy II nasceu do Projeto Ptolemy e estuda modelagem, simulação, sistemas embarcados, dentre outros. Os sistemas heterogêneos, aqueles que utilizam diversas tecnologias, são seu alvo mais importante. O trabalho é gerenciado pelo Centro de Sistemas de Softwares Embarcados e Híbridos no Departamento de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação, da Universidade da Califórnia, em Berkeley. O projeto em si é dirigido pelo Professor Edward A. Lee e recebeu esse nome em homenagem ao astrônomo, matemático e geógrafo Claudius Ptolemaeus.

Esta obra utiliza o Ptolemy II, a partir da interface gráfica *Vergil*, para desenvolver simulações aplicadas ao movimento de pessoas, mas há trabalhos em outras áreas com bastante destaque, como os direcionados a eventos naturais (chuva, terremoto, tsunami, etc). Para Zobel (2010), está claro que o uso de modelagem matemática e subsequentes simulações são uma boa maneira de avaliar a gravidade e as possíveis consequências de ambos os desastres, tanto os naturais, como os provocados pelo homem.

A flexibilidade, bem como a possibilidade de desenvolver projetos para sistemas embarcados e realizar simulações heterogêneas são características que ajudaram na nossa escolha pelo framework Ptolemy II e, assim, desenvolvermos nosso ambiente de simulação.

Segundo Lee (2010), o projeto Ptolemy inclui essa ferramenta gráfica (*Vergil*), como uma interface extensível ao usuário criada por Steve Neuendotffer, utilizada para executar as simulações com melhor usabilidade.

⁵ A escolha por este framework teve como fonte auxiliar a pesquisa de [Egea-López 2005], além de outros aspectos.

O Ptolemy II possui componentes próprios em sua estrutura original, mas para nosso trabalho foi necessária a adaptação de alguns componentes e estes interagem com os já existentes. No ambiente de simulação cada componente existente é reconhecido pelo Ptolemy como *Actor* (Ator) e à soma desses componentes tem-se um conjunto de atores. Cada ator cria e envia dados para outros componentes por meio de suas portas de saída. Para Brooks (2005), os componentes interagem principalmente por chamadas de métodos enviando mensagens através de canais. O uso de canais para mediar a comunicação implica que os atores interagem apenas com os canais que estão conectados e não diretamente com outros atores.

A interface utilizada para definir um ator abstrai o estado interno e o comportamento desse ator, impondo restrições em relação a sua interação com o ambiente. Essa interface também inclui portas e parâmetros, uma para que um ator use-a como ponto de comunicação e a outra para configurar a operação de um ator, respectivamente. No exemplo da Figura 4, conforme Brooks (2005), o *port/parameters* funciona tanto com porta, como parâmetro, já que muitas vezes um valor de parâmetro é parte da configuração de um ator, sem sofrer modificação quando o modelo é executado.

Para que a troca de mensagens seja efetivada existem regras colocadas por um domínio e gerenciado por um *Director* (Diretor). Uma mensagem que é trocada entre atores é chamada de *Token* e para cada tipo de dado transmitido, há vários tipos de *tokens*, segundo Lee (2010).

A Figura 5 retrata um exemplo do código fonte definido no próprio Ptolemy II e que define a classe *Sinewave*, editada conforme Figura 4.

Figura 1. Exemplo de comunicação entre atores [Brooks, 2005]

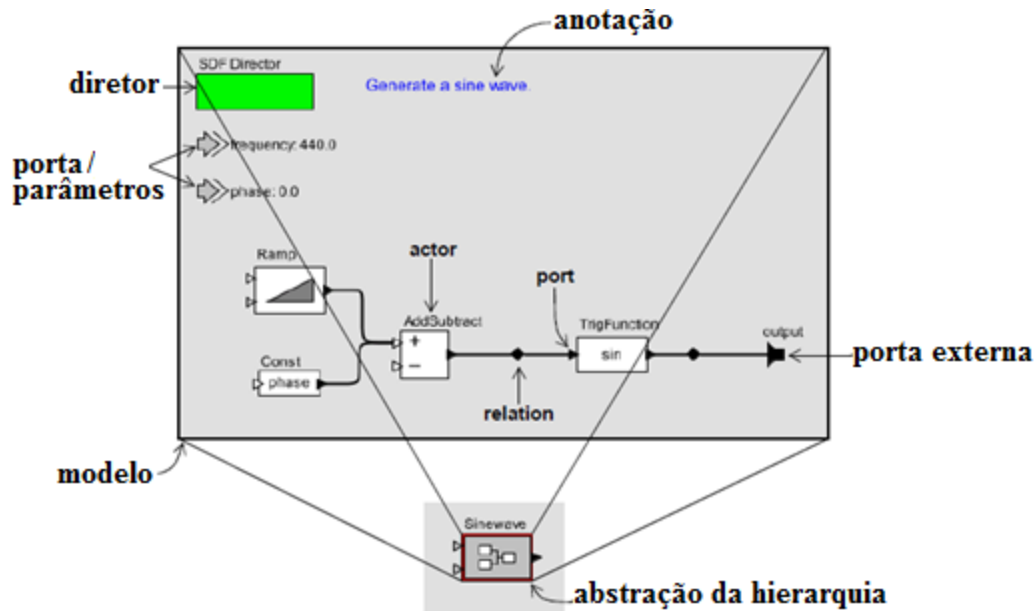


Figura 2. Representação do Código Fonte da classe Sinewave da Figura 4

```
<class name="Sinewave">
  <property name="samplingFrequency" value="8000.0"/>
  <property name="frequency" value="440.0"/>
  <property name="phase" value="0.0"/>
  <property name="SDF Director" class="ptolemy.domains.sdf.kernel.SDFDirector"/>
  <port name="output"><property name="output"/>
  <entity name="Ramp" class="ptolemy.actor.lib.Ramp">
    <property name="init" value="phase"/>
    <property name="step" value="frequency*2*PI/samplingFrequency"/>
  </entity>
  <entity name="TrigFunction" class="ptolemy.actor.lib.TrigFunction">
    <property name="function" value="sin" class="ptolemy.kernel.util.StringAttribute"/>
  </entity>
  <relation name="relation"/>
  <relation name="relation2"/>
  <link port="output" relation="relation2"/>
  <link port="Ramp.output" relation="relation"/>
  <link port="TrigFunction.input" relation="relation"/>
  <link port="TrigFunction.output" relation="relation2"/>
</class>
```