

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS



Serviço de Emergência Médica Angolano:
Optimização Utilizando Sistemas Multi-Agente

Mateus Padoca Calado

TESE ESPECIALMENTE ELABORADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE DOUTOR EM INFORMÁTICA, ESPECIALIDADE DE ENGENHARIA
INFORMÁTICA

TESE APRESENTADA NOS TERMOS DO ARTIGO 28.º DO
REGULAMENTO DE ESTUDOS DE PÓS-GRADUAÇÃO DA ULISBOA

2015

Agradecimentos

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”.

Isaac Newton

Expresso a minha gratidão a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste desafio, agradecendo a Deus por esta oportunidade e por colocar no meu percurso pessoas excepcionais e inspiradoras. Impõe-se uma referência e um agradecimento personalizado:

- Quero agradecer ao Professor Doutor Luis Antunes, que foi o orientador de facto deste projecto de doutoramento, e só não o pôde ser *de jure* devido à interpretação que foi dada ao diploma legal que regeu a submissão da dissertação à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Um sincero obrigado pelo apoio, paciência e compreensão. A sua postura crítica e verdadeira e as sugestões dadas foram valiosas para a realização deste trabalho. A liberdade que me concedeu para explorar os meus próprios caminhos e pontos de vista foi preciosa e, segundo creio, rara.
- Um agradecimento muito especial ao Professor Doutor Helder Coelho, não só pela disponibilidade, apoio, incentivo, acompanhamento, mas também pela preocupação com a minha formação, a qual transcende o simples cuidado profissional. Com ele melhorei as minhas capacidades humanas, através dos seus conselhos, perseverança e tolerância face a erros e falhas de minha parte. Por causa dele, nunca desisti.

- À Ana Ramos (minha esposa), um grande agradecimento, não só pela apreciação do trabalho, pelo apoio incondicional e paciência (como sempre) ao longo do mesmo. Manifesto também gratidão à minha família, em especial os meus filhos Elisa Calado e Afonso Calado, a quem o tempo que dediquei a este trabalho retirou a minha presença mais constante.
- Agradeço ao Professor Doutor Manuel Vangajala, Professor Doutor Samuel Vitorino, Professor Doutor Vila Famila, Professor Doutor Orlando da Mata, Professor Doutor Pepe de Gove, Professora Doutora Suzanete da Costa e Professor Doutor João Gaspar da Silva pelo incentivo e amizade incomensuráveis, decisivos para a concretização deste trabalho.
- Um reconhecimento especial para os meus alunos Kissema Rafael, Bongo Cahisso, Zenildo Pinto, Hélio Santana, Doceta Sansão e Adário Muatelembe que de alguma forma trabalharam comigo e contribuíram para o desenvolvimento desta tese.
- Os meus agradecimentos aos meus colegas do Departamento de Ciências da Computação da Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Dikiefu Fabiano, Vicente Lopes João, Lufialuiso Sampaio Velho, Darlines Munoz, João Costa e Amândio Almada pelo apoio e camaradagem.
- Um obrigado à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, especialmente ao Professor Doutor Pinto Paixão, GUESS (Grupo de Estudos em Simulação Social) e ao LABMAG (Laboratório de Modelação de Agentes).
- E por fim, mas não menos importante, gostaria de estender os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de uma forma incondicional me apoiaram para a conclusão desta dissertação, pois ela também é vossa.

A todos vós, um muito obrigado.

Resumo

A temática da saúde é uma das que apresenta mais desafios em Angola. Os desafios são não só intrínsecos à própria área, mas resultam também de condicionantes externas. Uma das áreas mais problemáticas, dada a sua natureza complexa e multidisciplinar, é a dos serviços de emergências hospitalares. Visando um aumento de eficiência desses serviços, podem estudar e ensaiar-se várias políticas públicas, mas que, frequentemente, apenas podem ser avaliadas quando já se encontram implementadas.

A simulação *à priori* dessas políticas apresenta vários benefícios: o *design* pode ser ajustado aos objectivos dos decisores políticos de forma mais exacta; as políticas podem reflectir melhor as motivações dos indivíduos envolvidos em diversos papéis (utilizadores, médicos, enfermeiros, funcionários públicos, auditores, decisores políticos); as ligações micro-macro e as mediações são representadas explicitamente; a simulação permite a melhoria sucessiva das políticas, de tal forma que as mesmas aquando da sua implementação estejam aperfeiçoadas; os decisores e intervenientes podem conhecer melhor o território de decisão tendo em vista uma economia de custos, um aumento da eficiência dos serviços, uma maior satisfação dos utentes e uma acção mais adequada em situações de contingência.

Defendemos a simulação baseada em multi-agente como forma de orientar a especificação de políticas. Os sistemas multi-agente (SMA) permitem a representação de agentes racionais heterogéneos e fornecem uma abordagem para criar modelos dinâmicos complexos de fenómenos sociais.

Ao longo dos últimos anos assistiu-se a um crescente interesse pela utilização dos SMA na área da prestação de cuidados de saúde. O potencial de flexibilidade, adaptabilidade e robustez dos SMA é amplamente considerado como uma mais-valia para a área da saúde em tópicos como o apoio à decisão médica, diagnóstico e

monitorização de pacientes, prestação de cuidados remotos, gestão e coordenação de recursos ou aprendizagem e treino médicos.

Nesta dissertação descreve-se como podemos atacar o problema de optimização das políticas de serviços de emergência médica, quando há uma diferença clara entre a concepção dessas políticas e o uso que as pessoas lhes dão. Apresenta-se o cenário e um modelo para a simulação, identificando os actores envolvidos, as medidas necessárias para avaliar os resultados multidimensionais da simulação e como se podem afinar as políticas e simulá-las antes da sua implementação no mundo real. Motivado pelo cenário mais eficiente resultante da simulação e por forma a validá-lo, implementou-se o protótipo SIEMA (Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas) com a finalidade de apoiar a gestão de emergências médicas em Angola.

Palavras-chave: Simulação social, agentes, sistemas multi-agente, emergências médicas, políticas de saúde.

Abstract

Healthcare presents major challenges in Angola. These challenges are not only intrinsic to the area itself, but are also a consequence of external constraints. Medical emergency services, on account of their complex and multidisciplinary nature, are one of the most problematic areas. Aiming at an increase of efficiency of these services, various public policies can be studied and tested, but their results often can only be assessed when policies are already implemented.

The simulation of these policies has several benefits: the design can be adjusted to the objectives of policy makers more accurately; policies can better reflect the motivations of the individuals involved in various roles (patients, doctors, nurses, hospital staff, auditors, policy makers); micro-macro links and mediations are represented explicitly. Simulation allows successive improvement of policies before their implementation; decision-makers and stakeholders can better understand the decision territory, namely concerning cost savings, increased service efficiency, greater user satisfaction and a more adequate action in contingency situations.

We defend multi-agent based simulation as a way to guide the policy specification. Multi-agent systems (MAS) allow the representation of heterogeneous agents and provide a rational approach to create complex social phenomena dynamic models.

The past few years have witnessed a growing interest in the use of MAS in health. The potential for flexibility, adaptability and robustness of MAS is widely regarded as an asset for healthcare on topics such as medical decision support, diagnosis and monitoring of patients, remote care, management and coordination of resources or learning and medical training.

This thesis describes how we tackle the optimization of medical emergency services policies when there is a clear distance between the conception of policies and the use

that people give them. We present the scenario and a model for the simulation, identify involved actors and fine-tuned and simulate policies before implementation in the real world. Motivated by the most efficient scenario resulting from the simulation and in order to validate it, we implemented a prototype (SIEMA) to support the management of medical emergencies in Angola.

Keywords: social simulation, agents, multi-agent systems, medical emergencies, health policies.

Publicação e divulgação

Artigos

- Calado, Mateus Padoca, Antunes, Luís: Simulação social para otimização das políticas de serviços de emergência médica., Revista de Ciências da Computação. ISSN1646-6330. Vol.7, nº7 (2012) p. 1-23 (<http://hdl.handle.net/10400.2/2552>).
- Calado, M., Antunes, L., Ramos, A.: *Social simulation for optimization of emergency health services policy*, IST-Africa Conference Proceedings, p1-8, IEEE Conference Publications. (2014) print ISBN 978-1-905824-43-4 (<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6880612>).
- Calado, M., Antunes, L., Ramos, A.: *Social simulation for optimization of emergency health services policy*, artigo apresentado na Conferência IST-Africa, Pointe Aux Piments, Ilhas Maurícias, Maio de 2014.
- Calado, M., Antunes, L., Ramos, A.: *SIEMA: A system to improve the access to medical emergency services*, artigo a ser publicado em IST-Africa Conference Proceedings, IEEE XPLORE. (2015), print ISBN 978-1-905824-51-9.
- Calado, M., Antunes, L., Ramos, A.: *SIEMA: A system to improve the access to medical emergency services*, artigo apresentado na Conferência IST-Africa, Lilongwe, Malawi, Maio de 2015.
- Calado, M., Antunes, L.: *Agents in a Medical Emergency Triage and Referral System*, artigo aprovado para publicação na conferência IEEE AFRICON 2015, Addis Abeba, Etiópia, Setembro de 2015.
- Calado, M., Antunes, L., Concretizar a otimização das emergências médicas em Angola, artigo submetido à 4ª Conferência Nacional sobre Ciência e Tecnologia, Luanda, Angola, Setembro de 2015.

Posters

- Calado, M., Antunes, L.: SMA para emergências Hospitalares, Poster apresentado em Inforum - Simpósio de Informática, Porto, Portugal, Setembro, 2014.
- Calado, M.: SIEMA - Sistema integrado de Gestão de Emergências Médicas Angolanas, Poster apresentado na Feira de Ciência e Tecnologia, Luanda, Angola, Setembro, 2014.
- Calado, M., Antunes, L.: *A prototype to organize hospital emergencies in Angola*, poster apresentado em IENA - *Internationale Drehscheibe für Erfindungen und neue Produktideen*, Nuremberga, Alemanha, Novembro, 2014.
- Calado, M., Antunes, L.: *Using simulation to evaluate hospital emergency policies in Angola*, poster apresentado em IENA - *Internationale Drehscheibe für Erfindungen und neue Produktideen*, Nuremberga, Alemanha, Novembro, 2014.

Demonstrações

- SIEMA, *A prototype to organize hospital emergencies in Angola*, demonstração feita em IENA - *Internationale Drehscheibe für Erfindungen und neue Produktideen*, Nuremberga, Alemanha, Novembro, 2014.
- SIEMA, Sistema Integrado de Gestão de Emergências Médicas Angolanas, demonstração feita na Feira de Ciência e Tecnologia, Luanda, Angola, Setembro, 2014.

Prémios

- SIEMA, *A prototype to organize hospital emergencies in Angola*, Medalha de bronze na categoria de universidades atribuída por IENA - *Internationale Drehscheibe für Erfindungen und neue Produktideen*, Nuremberga, Alemanha, Novembro, 2014.
- Candidatura à primeira edição do Prémio Universidade Agostinho Neto de Investigação Científica, Luanda, Angola, Junho de 2015.

Imprensa

- “Criado um sistema para salvar vidas”. Um software criado pela Universidade Agostinho Neto (UAN) permite que pessoas necessitadas de primeiros socorros sejam atendidas após envio por telemóvel de uma mensagem com os sintomas. 03 Abril de 2015, Jornal de Angola.
- “Criação de softwares voltados para a realidade angolana”. A UAN desenvolveu um software denominado SIEMA (Sistema Integrado de Emergências Médicas), que estará disponível dentro de seis meses e permitirá através de um telemóvel prestar os primeiros socorros relativos a uma dada patologia, bastando que a pessoa envie uma mensagem com os sintomas. O mesmo programa, acrescentou a fonte, indica ainda o hospital especializado mais próximo para o tratamento da doença, e como precaução notifica esta unidade hospitalar sobre a chegada deste paciente. 07 Abril de 2015, Portal Africa21Online, www.africa21online.com.
- “UAN cria software para localizar hospitais de acordo a patologia do Utente”. 01 e 02 Abril de 2015, Serviço Noticiosos (Jornal da tarde da Televisão Pública de Angola canal 1 e Jornal da Noite da Televisão Pública de Angola canal 2) [emissão televisiva de notícias], Luanda, Angola.
- Alemanha: UAN arrebatou duas medalhas na Feira IENA 2014 na categoria de ensino superior. 04 Novembro 2014, Angop – Agência Angola Press, www.portalangop.co.ao.
- Universidade Agostinho Neto foi distinguida com a medalha de Bronze com o projecto SIEMA. 06 Novembro de 2014, Jornal de Angola.
- “O software SIEMA ganha medalha de bronze na IENA – Alemanha”. 05 e 06 de Maio de 2014, serviços noticiosos (Telejornal, Bom dia Angola, Jornal da tarde da Televisão Pública de Angola canal 1 e Jornal da Noite da Televisão Pública de Angola canal 2) [emissão televisiva de notícias], Luanda, Angola.

Índice Geral

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
PUBLICAÇÃO E DIVULGAÇÃO.....	VII
ARTIGOS	VII
POSTERS.....	VIII
DEMONSTRAÇÕES	VIII
PRÉMIO VIII	
IMPrensa.....	IX
ÍNDICE GERAL.....	XI
ÍNDICE DAS FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DAS TABELAS.....	XVII
NOTAÇÃO E TERMINOLOGIA.....	XIX
LISTA DE ACRÓNIMOS	XXI
1. INTRODUÇÃO	2
1.1 ENQUADRAMENTO.....	2
1.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS NOS SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA MÉDICA.....	4
1.3 MOTIVAÇÃO.....	4
1.4 OBSTÁCULOS PARA A DEFINIÇÃO DAS POLÍTICAS DE SAÚDE.....	8
1.5 OBJECTIVO.....	9
1.6 CONTRIBUIÇÕES	10
1.7 METODOLOGIA.....	11
1.8 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	12
2. SITUAÇÃO DA SAÚDE EM ANGOLA.....	14
2.1 INDICADORES DE SAÚDE DA POPULAÇÃO	14
2.2 ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA PÚBLICO DE SAÚDE.....	15
2.3 PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE SAÚDE.....	16
2.3.1 <i>Qualidade</i>	16
2.3.2 <i>Informação</i>	17
2.3.3 <i>Recursos materiais</i>	18
2.4 AGENTES NA SAÚDE E PAPÉIS DESEMPENHADOS	18
2.5 PROFISSIONAIS DE SAÚDE, PRINCIPAIS DESAFIOS	19
2.6 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO NA ÁREA DA SAÚDE PÚBLICA EM ANGOLA	21
2.6.1 <i>Contributo das Tecnologias de Informação para a disponibilização de informação aos utentes</i>	21
2.6.2 <i>Utilização das Tecnologias de Informação na gestão das entidades de saúde</i> ..	22
2.6.3 <i>Utilização das tecnologias de informação para gerir a informação da saúde entre as entidades ligadas à saúde</i>	23
3. ESTADO DA ARTE.....	26
3.1 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA A ÁREA DA SAÚDE	28
3.2 SISTEMAS MULTI-AGENTE APLICADOS NA ÁREA DA SAÚDE	29

3.2.1	<i>Sistemas distribuídos de diagnóstico (SDD)</i>	29
3.2.2	<i>Gestão de informação médica</i>	31
3.2.3	<i>Telemonitorização de pacientes e apoio à vida</i>	33
3.2.4	<i>Optimização de fluxos das emergências hospitalares</i>	36
3.2.5	<i>Telecirurgia</i>	38
3.3	OBSTÁCULOS À UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS MULTI-AGENTE NA SAÚDE	38
4.	OPÇÕES TECNOLÓGICAS DO SIEMA	40
4.1	SISTEMAS MULTI-AGENTE	40
4.2	PROTÉGÉ	41
4.3	JENA	42
4.4	OWL	43
4.5	NETLOGO	44
4.6	UML	46
4.7	RUP	47
4.8	JAVA	47
4.9	PHP	49
4.10	MYSQL	50
4.11	API GOOGLE MAPS	51
5.	AGENTES E SISTEMAS MULTI-AGENTE NO SIEMA	52
5.1	SISTEMA MULTI-AGENTE	52
5.1.1	<i>Algumas definições de SMA</i>	53
5.1.2	<i>Características de SMA</i>	54
5.1.3	<i>Metodologias e Implementações</i>	55
5.2	AGENTES	56
5.2.1	<i>Propriedades dos agentes</i>	58
5.2.2	<i>Agentes utilizados no SIEMA</i>	59
5.2.3	<i>Arquitectura de agentes</i>	62
5.2.4	<i>Arquitectura de Agente do SIEMA</i>	65
5.3	PLATAFORMA DE AGENTES	66
5.3.1	<i>Arquitectura abstracta da FIPA</i>	67
5.3.2	<i>Plataformas que obedecem às normas da FIPA</i>	67
5.3.3	<i>Agentes e paradigma orientado a objectos</i>	69
5.4	COMUNICAÇÃO ENTRE AGENTES NO SIEMA	70
5.5	TAREFAS DOS AGENTES IMPLEMENTADOS NO SIEMA	72
5.6	ESTRUTURA DO SISTEMA MULTI-AGENTE DO SIEMA	77
5.7	ESTRUTURA INTERNA DOS AGENTES NO SIEMA	79
5.8	ONTOLOGIA DOS AGENTES NO SIEMA	81
5.9	O PORQUÊ DOS AGENTES NO SIEMA	84
6.	SIMULAÇÃO SOCIAL NO SIEMA	86
6.1	OPTIMIZAÇÃO NO SISTEMA DE EMERGÊNCIA MÉDICA	86
6.2	SIMULAÇÃO SOCIAL BASEADA EM AGENTES	89
6.3	ACESSO AO SISTEMA DE EMERGÊNCIA HOSPITALAR ANGOLANO	93
6.4	MODELO DE SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA MÉDICA	94
6.4.1	<i>Entidades</i>	96
6.4.2	<i>Agentes</i>	99
6.4.3	<i>Algoritmos de decisão</i>	100
6.5	INTERFACE DA SIMULAÇÃO	103
6.6	AS SIMULAÇÕES E RESULTADOS PRELIMINARES	105
6.6.1	<i>Parâmetros da simulação</i>	105
6.6.2	<i>Dados avaliados</i>	106
6.6.3	<i>Estudo de relação entre o SEH organizado e a mortalidade dos utentes em geral</i>	107
6.6.4	<i>Estudo de relação entre o SEH organizado e a mortalidade dos utentes quando a probabilidade de o utente ficar no estado 'Específico' é mais elevada</i>	109
6.6.5	<i>Influência do tipo de modelo sobre o tempo que decorre até que os utentes fiquem no estado 'Curado'</i>	110

6.6.6	<i>Distribuição dos utentes pelos hospitais e quantidade de utentes curados em cada uma das entidades</i>	111
6.7	CONCLUSÃO	112
7.	SISTEMA INTEGRADO DE EMERGÊNCIAS MÉDICAS ANGOLANAS	114
7.1	PROCESSO DE NEGÓCIO ACTUAL	114
7.2	REQUISITOS DO SIEMA	116
7.3	ANÁLISE DO SIEMA	117
7.3.1	<i>Descrição do protótipo SIEMA</i>	117
7.3.2	<i>Casos de uso</i>	122
	<i>Descrição dos actores</i>	122
	<i>Descrição dos casos de uso</i>	123
7.3.3	<i>Modelo conceptual de classes</i>	124
7.3.4	<i>Diagrama de Objectos</i>	125
7.3.5	<i>Diagrama de Sequência</i>	126
7.3.6	<i>Diagrama de Estados</i>	128
7.4	DESENHO DO SIEMA	129
7.4.1	<i>Arquitectura do sistema</i>	129
7.4.2	<i>Partições</i>	130
7.4.3	<i>Módulos do SIEMA</i>	131
7.5	SOLUÇÕES DE SEGURANÇA IMPLEMENTADAS NO SIEMA	133
7.5.1	<i>SQL Injection</i>	134
7.5.2	<i>Cross-Site Scripting (XSS)</i>	135
7.5.3	<i>Denial of Service</i>	136
7.6	RESULTADOS	138
7.6.1	<i>Resultados do encaminhamento</i>	139
7.6.2	<i>Avaliação do protótipo por utilizadores</i>	141
8.	CONCLUSÃO	144
8.1	AVALIAÇÃO CRÍTICA DO TRABALHO REALIZADO	145
8.2	TRABALHO FUTURO	148
8.3	IMPACTO SOCIAL DO SIEMA	149
8.4	CONTRIBUIÇÕES	151
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154

Índice das Figuras

Figura 1.1: Ciências da complexidade na optimização de políticas, adaptado [Coelho, 2010].	8
Figura 1.2: Metodologia utilizada no âmbito dos sistemas desenvolvidos.....	12
Figura 2.1: Estratégia para a criação do SIS em Angola <i>in</i> [MINSAs, 2010].....	24
Figura 3.1: Arquitectura <i>Health Agents</i> com vários nós [Vélez et al., 2009]	30
Figura 3.2: Arquitectura de MET3 [Shirabad et al., 2012].....	31
Figura 3.3: Ciclo de vida de um agente no sistema SALSAs [Tentori <i>et al.</i> , 2006].....	32
Figura 3.4: Conceito geral de U-R-Safe [Tentori 2006].....	34
Figura 3.5: Arquitectura do projecto GerAmi [Corchado et al., 2008]	35
Figura 3.6: Arquitectura multi-agente do ED-MAS.....	37
Figura 3.7: Implementação do protótipo [Paulussen et al., 2006].....	37
Figura 4.1: Interface do Protégé, onde se pode visualizar as classes da ontologia do SIEMA	42
Figura 4.2: Excerto da representação OWL da restrição numa propriedade da ontologia do SIEMA.	43
Figura 4.3: Interface da simulação com a ferramenta NetLogo.....	45
Figura 4.4: Um dos diagramas UML (casos de uso) utilizado na modelação do SIEMA	46
Figura 4.5: Gráfico contendo as várias fases do RUP, adaptado [Eeles, 2002].	47
Figura 4.6: Separação lógica no EJB.....	49
Figura 4.7: Sistema de Gestão de Bases de Dados MYSQL	50
Figura 4.8: Google Maps com as etiquetas de alguns Hospitais em Luanda.	51
Figura 5.1: Arquitectura multi-agente.	55
Figura 5.2: Tipologia de agentes [Nwana, 1996].	60
Figura 5.3: Arquitectura de um agente deliberativo.	63
Figura 5.4: Pseudo-código de um algoritmo genérico para um agente BDI adaptado de [Wooldridge, 2000].	65
Figura 5.5: Arquitectura PRS [Wooldridge, 2009].	65
Figura 5.6: Componentes da arquitectura abstracta da FIPA.....	69
Figura 5.7: Comunicação entre agentes no SIEMA.	71
Figura 5.8: Diagrama de sequência de registo de agente nas páginas brancas e amarelas.	71
Figura 5.9: Troca de mensagens entre agente diagnóstico e agente encaminhamento.	72

Figura 5.10: Visão geral da arquitectura do SMA do SIEMA.	78
Figura 5.11: Visão geral das interacções entre os agentes do SIEMA.	79
Figura 5.12: Processo de diagnóstico.	80
Figura 5.13: Vinculação da ontologia no SIEMA.	82
Figura 5.14: Conceitos de alto nível representados no <i>Protégé</i>	83
Figura 6.1: Estado do Utente.	97
Figura 6.2: Diagrama de actividades quando o utente usa CAE.	101
Figura 6.3: Diagrama de actividade quando utente não usa CAE.	102
Figura 6.4: Diagrama de Estados da situação de saúde do utente.	103
Figura 6.5: Interface inicial do protótipo da simulação.	104
Figura 6.6: Fórmula Krejcie & Morgan, 1970.	107
Figura 6.7: Utentes curados nas simulações SEHO (ON) vs SEH (OFF)	108
Figura 6.8: Gráficos da evolução do estado dos pacientes nos dois modelos.	110
Figura 7.1: Diagrama de actividades do processo de negócio actual.	115
Figura 7.2: Interface inicial do SIEMA.	117
Figura 7.3: Formulário do SIEMA onde utente escolhe os sintomas.	118
Figura 7.4: Interface onde se selecciona a localização do utente.	119
Figura 7.5: Dois caminhos com custos diferentes para uma entidade hospitalar.	121
Figura 7.6: Diagrama com os principais casos de uso.	122
Figura 7.7: Diagrama de classes do SIEMA.	125
Figura 7.8: Diagrama de objectos instanciando o diagrama de classes do SIEMA.	126
Figura 7.9: Diagrama de Sequência para o caso de uso solicitar triagem.	127
Figura 7.10: Diagrama de Estados para o atendimento do paciente no SIEMA.	128
Figura 7.11: Arquitectura de três camadas do SIEMA.	129
Figura 7.12: Partições do SIEMA.	130
Figura 7.13: Excerto de uma consulta parametrizada utilizado no SIEMA.	135

Índice das Tabelas

Tabela 2.1: Alguns dos principais indicadores de saúde em 2009	14
Tabela 2.2: Evolução da rede de entidades prestadoras de cuidados de saúde	16
Tabela 2.3: Mínimos e máximos de profissionais por 1000 habitantes <i>in</i> [MINSAs, 2009]	20
Tabela 2.4: Projectos informáticos para melhoria do SIS <i>in</i> [MINSAs, 2010]	24
Tabela 5.1: Propriedades fracas dos agentes	58
Tabela 5.2: Propriedades fortes dos agentes	58
Tabela 6.1: Parâmetros utilizados no protótipo da simulação	105
Tabela 7.1: Resultados do encaminhamento dos pacientes pela gravidade do seu estado. ...	139
Tabela 7.2: Resultados do encaminhamento avaliando as filas de espera dos hospitais.	140
Tabela 7.3: Resultados da avaliação feita pelos utilizadores ao protótipo.	142

Notação e terminologia

Para facilitar a leitura, a notação e a terminologia utilizada nesta dissertação obedece à convenção abaixo apresentada:

- Utilizou-se a letra *Times New Roman* com tamanho doze ao longo da dissertação, nos apêndices e nas legendas das figuras e tabelas utilizou-se o tamanho dez;
- O texto em itálico e entre aspas é para os acrónimos e/ou termos em língua estrangeira;
- O texto em negrito é utilizado para realçar os títulos e subtítulos e dar ênfase a alguns termos;
- O texto em cor clara e sublinhado é utilizado para indicar os endereços electrónicos ou referências de sítio na Internet;
- Parágrafo indentado em Itálico e entre aspas é utilizado para as citações.
- Optámos por não traduzir alguns termos da língua estrangeira de utilização generalizada.

Lista de acrónimos

AAAI	American Association for Artificial Intelligence
AAMAS	Autonomous Agents and Multi-Agent Systems
AAP	April Agent Platform
ACL	Agent Communication Language
ADK	Agent Development Kit
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AMS	Agent Management System
API	Application Programming Interface
BDI	Belief-Desire-Intention
CAPTCHA	Completely Automated Public test to Tell Computers and Humans Apart
CASE	Computer Aided Software Engineering
DDOS	Distributed Denial of Service
DF	Directory Facilitator
DNRH	Direcção Nacional de Recursos Humanos
DOM	Document Object Model
DOS	Denial of Service
EHR	Electronic Healthcare Records
FIPA	The Foundation of Intelligent Physical Agents
FIPA-OS	FIPA Open Source
GEPE	Gabinete de Estudos Planeamento e Estatística

GPS	Global Positioning System
HTML	HyperText Markup Language
IJCAI	International Joint Conference on Artificial Intelligence
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
JADE	Java Agent Development Framework
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
LISP	List Processing
MAPESS	Ministério da Administração Pública, Emprego e Segurança Social
MASIF	Mobile Agent System Interoperability Facility
MINSA	Ministério da Saúde
OMG	Object Management Group
OMS	Organização Mundial de Saúde
OWL	Web Ontology Language
PDA	Personal Digital Assistant
PDO	PHP Data Objects
PHP	Hypertext Preprocessor
PIB	Produto Interno Bruto
PROLOG	Programming in Logic
PRS	Procedural Reasoning System
RADE	Role-based Agent Development Environment
RDF	Resource Description Framework
RFID	Radio-Frequency Identification
RUP	Rational Unified Process
SALSA	Simple Agent Library for Smart Ambients
SBA	Simulação Baseada em Agentes
SDD	Sistemas Distribuídos de Diagnóstico

SGBD	Sistema de Gestão de Bases de Dados
SIDA	Síndrome da Imunodeficiência Adquirida
SIS	Sistema de Informações de Saúde
SMA	Sistemas Multi-agente
SNS	Serviço Nacional de Saúde
SPARQL	Simple Protocol and RDF Query Language
SSA	Sistema de Saúde Angolano
SSH	Secure Shell
SSL	Secure Sockets Layer
STRIPS	Stanford Research Institute Problem Solver
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UE	União Europeia
UML	Unified Modeling Language
W3C	World Wide Web Consortium
WIFI	Wireless Fidelity
XML	Extensible Markup Language
XMLS	Extensible Markup Language Schema
XSS	Cross-Site Scripting

1. Introdução

“Se esperas pelas condições ideais, elas nunca ocorrerão”.

Nelson Mandela

A saúde e bem-estar desde muito cedo se apresentaram como bases do desenvolvimento para qualquer sociedade, sendo a garantia daquelas uma preocupação por parte do Estado e da população em geral. Durante os últimos anos tem havido um interesse crescente por parte da comunidade científica em apresentar soluções e tecnologias para ir ao encontro da premência do tema da saúde entre os decisores políticos, e da importância que a saúde representa para profissionais desta área e a para sociedade angolana em geral, tendo em conta que é fundamental para a sua qualidade de vida.

1.1 Enquadramento

A área da saúde é uma das que apresenta mais desafios em Angola. Os desafios são não só intrínsecos à própria área, mas resultam também de condicionantes externas. Pode afirmar-se que a construção de um sistema de saúde universal angolano data de há cerca de uma década, com o fim da guerra civil. O sistema de saúde existente durante a época colonial estava orientado essencialmente para prestar cuidados aos colonos.

Para garantir a prestação de cuidados de saúde existe o ‘Sistema de Saúde’, que pode ser definido como o conjunto de instituições e serviços que têm como missão garantir o acesso de todos os cidadãos aos cuidados de saúde,

sendo em Angola extensivo a todas as instituições e serviços oficiais prestadores de cuidados de saúde, constituídos pelo Serviço Nacional de Saúde (SNS) público, dependente do Ministério da Saúde; Serviços de Saúde Militar, tutelados pelo Ministério da Defesa e pelos Serviços de Saúde do Ministério do Interior. Os dois últimos têm como prioridade o atendimento dos seus efectivos e familiares próximos. O sistema de saúde abrange ainda os estabelecimentos e serviços prestados pelas entidades privadas.

Cerca de 40 anos de guerra destruíram o tecido social e económico. Morreu aproximadamente um milhão de angolanos e 4,5 milhões ficaram deslocados. A assimetria da distribuição populacional, com um grande excesso de população em áreas urbanas (especialmente em Luanda, capital do país) agravou problemas de infra-estruturas, nomeadamente na área do saneamento e distribuição de água potável, dos transportes, da habitação, da educação e da saúde.

Particularmente desde 2005 têm-se conseguido alguns avanços consideráveis no sentido de um alargamento da cobertura dos serviços básicos de saúde [Connor 2010], mas o serviço de emergência continua a ser um dos pontos fracos do SNS angolano. Dada a sua natureza mais complexa e multidisciplinar, a qualidade dos cuidados prestados nos serviços de saúde e em particular nas urgências hospitalares estão muito aquém do desejável e necessário.

Esta proposta pode contribuir para a melhoria dos indicadores do serviço nacional de saúde em Angola na área do atendimento de urgências hospitalares. Como exemplo de alguns desses indicadores temos o grau de congestionamento dos serviços de urgência, o tempo de espera dos pacientes, a mortalidade no serviço de urgência hospitalar, a satisfação dos utentes e dos funcionários desse serviço.

1.2 Principais problemas nos serviços de emergência médica

Apesar de existir, por parte do Ministério da Saúde e de algumas entidades que prestam cuidados de saúde, uma maior sensibilidade para a importância da disponibilização de dados sobre os seus serviços, facto motivado não só por razões económicas, mas também pelo interesse e necessidade de informação por parte dos utentes, o Serviço de Saúde Angolano enferma de graves lacunas, de entre as quais destacamos as seguintes:

- A falta de informação a nível de serviços disponíveis, os seus horários e as condições de acesso e do funcionamento geral do sistema de saúde;
- A insuficiência de recursos humanos e materiais face à procura e às necessidades específicas dos utentes;
- Escassez e baixa qualidade dos medicamentos e alguns outros produtos farmacêuticos;
- Uma organização deficiente que se repercute na falta de articulação entre os centros de saúde e os hospitais;
- A centralização dos recursos e distanciamento face aos utentes;
- A excessiva burocratização do sistema.

É consensual que têm existido alguns progressos consideráveis na qualidade da prestação de cuidados de saúde em Angola e na expansão da rede de entidades prestadoras destes cuidados. No entanto, ainda menos de metade da população tem acesso a cuidados de saúde.

1.3 Motivação

São necessárias mudanças na organização e funcionamento do sistema de saúde, pressupondo a tomada de decisões de elevada complexidade política, tendo em conta as vertentes humana, técnica, tecnológica, logística e administrativa. Apresenta-se, a seguir, vários pontos que caracterizam as principais dificuldades actuais nestes serviços em Angola e as suas

consequências na vida dos utentes. Trata-se apenas de visualizar a complexidade envolvida, através de uma fotografia rápida, que nos mostra a mistura de níveis (do macro ao micro, do global ao local) em que se encontram as dificuldades. Isto também sugere o recurso disciplinar que teremos de mobilizar para dar sentido ao ataque às soluções.

I. Problemas no acesso à informação por parte dos utentes:

- Inexistência de um sistema informativo para orientar os utentes do serviço de saúde no acesso a este, o que conduz a que os utentes frequentem as unidades segundo a sua preferência pessoal ou a sua conveniência particular.
- Insuficientes e/ou deficientes serviços intra-hospitalares de informação aos utentes, sendo factor de atraso no acesso do utente aos serviços disponíveis na unidade hospitalar, ou inviabilizando na prática o acesso a outra unidade.
- Desconhecimento da localização concreta das unidades de saúde e dos seus serviços disponíveis, o que contribui para aumentar a assimetria na distribuição de utentes entre essas unidades.
- Pouco conhecimento das políticas e das leis de saúde. Como exemplo, os utentes não utilizam o direito de receberem os primeiros socorros em qualquer unidade hospitalar seja ela privada ou pública, em caso de emergência.

II. Recurso exagerado às emergências por parte dos utentes.

- Os utentes recorrem aos serviços de emergência de forma abusiva, ou seja, estes serviços acabam muitas vezes por constituir a primeira linha de acesso ao sistema de saúde para problemas não urgentes. Este facto prejudica o acesso para casos de emergências reais, diminui a qualidade e disponibilidade dos serviços prestados e provoca um aumento dos encargos financeiros.

III. Problemas de organização do serviço de emergência

- Não existe um serviço de triagem bem estabelecido e de uso generalizado, causando dificuldade na determinação do estado do utente e estabelecimento de um pré-diagnóstico e no encaminhamento o mais correcto possível do utente para um hospital ou serviço que corresponda ao nível de cuidados que deve receber. Este facto aumenta o tempo de espera de todos os utentes, inclusive dos que se encontram em estados mais graves, aumenta a mortalidade e contribui para a insatisfação dos profissionais de saúde.
- O sistema de transferência de utentes entre as diferentes unidades hospitalares não funciona de forma eficiente. A transferência é feita com base numa declaração escrita (sem suporte informático) que leva tempo a ser elaborada e o transporte do utente é entregue ao cuidado dos familiares.
- Deficiente sistema de gestão de ambulâncias, que existem apenas em algumas unidades e é difícil o seu acesso para socorrer uma situação de emergência.
- Inexistência de um sistema de referência detalhado para encaminhamento dos utentes, nomeadamente entre os centros de saúde de referência e os hospitais. Registam-se elevadas taxas de mortalidade nos utentes internados que aguardam transferências; nos que aguardam por ambulâncias nos locais dos acidentes, nos que esperam pelos primeiros socorros no serviço de urgência, e outros por falta de informação.
- As instalações dos serviços de urgência não são em alguns casos as mais adequadas, existindo pouco espaço para os profissionais de saúde, os utentes e até os seus familiares. Este facto conduz a um elevado risco de contágio entre os utentes porque a proximidade física é maior.

- A ordem de chegada dos pacientes à emergência pode não ser correctamente estabelecida e isso gera confusão e até agressões verbais entre os mesmos na altura do atendimento.
- Dificuldades na organização intra-hospitalar, por exemplo na gestão de consultas externas em que existem exames com uma duração de um mês entre a data da marcação e da realização e com eventuais adiamentos sem aviso ao utente.

IV. Outros problemas

- Existência de autoritarismo e de paternalismo nas relações entre pessoal de saúde e os utentes, especialmente nas unidades de saúde pública.
- Preferência dos utentes com possibilidades financeiras pelas unidades privadas onde existe uma grande valorização de relações afectivas em detrimento de vínculos organizacionais e os laços afectivos são fortemente considerados, influenciam comportamentos, relacionamentos e decisões dos utentes.
- Rede sanitária insuficiente, requerendo um investimento principalmente nas unidades de maiores contactos com as comunidades, os centros médicos.

Alguns destes problemas são crónicos e afectam de uma forma generalizada os diversos serviços do sistema de saúde. No entanto, a ciência ajuda-nos a isolar aspectos capazes de mobilizar as energias. Assim, dois factores constituiriam grandes avanços no sentido da melhoria da prestação do atendimento de urgência.

1. A implementação de um sistema de triagem e aconselhamento pré-hospitalar que evite a deslocação à entidade de saúde do utente (ou caso essa deslocação seja necessária, o encaminhe para a entidade mais adequada).
2. Facilitar a coordenação entre as várias entidades hospitalares que, suportada por sistemas de informação adequados, permita fazer uma distribuição racional dos utentes.

1.4 Obstáculos na definição das políticas de saúde

A definição de políticas de saúde apresenta vários desafios. Esses desafios provêm da natureza incerta, interdependente e complexa dos factores sociais, económicos, políticos, financeiros e os conflitos de interesse que é necessário gerir e prever. Esses factores não são só uma condicionante para a criação das políticas de saúde, mas também um resultado da implementação dessas políticas, gerando-se desta forma um sistema dinâmico e com algum coeficiente de incerteza em relação aos resultados que serão obtidos se as políticas delineadas forem concretizadas.

Traçar políticas públicas de saúde, implementá-las, acompanhá-las, avaliar os seus resultados e impactos na sociedade é um problema complexo não estruturado, dados os factores atrás referidos. Mas, graças às Ciências da Complexidade e às da Computação é possível gerar ideias que poderão ajudar a discussão.

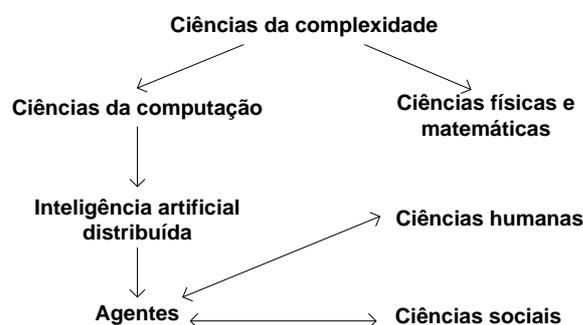


Figura 1.1: Ciências da complexidade na optimização de políticas, adaptado [Coelho, 2010]

Com o objectivo de racionalização de custos no sector público existe em Angola uma preocupação crescente por parte dos decisores políticos com a maximização da eficiência e eficácia das políticas públicas delineadas e a satisfação das populações. Para concretizar este objectivo de optimização é imprescindível perceber o funcionamento e compreender as particularidades do investimento público deste sector, ter sensibilidade quanto às necessidades do utente, conhecer os diferentes métodos de avaliação das políticas públicas e escolher a metodologia mais adequada. Avançar com alternativas permite ajudar os políticos a encontrar as melhores soluções.

1.5 Objectivo

O objectivo deste trabalho consiste em esboçar uma proposta concreta denominada Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas (SIEMA), mostrando como ela se constrói, com o propósito de:

- Disponibilizar aos responsáveis pela definição de políticas específicas para os serviços de emergência médica uma ferramenta que permite construir cenários e avaliar as consequências da adopção de determinadas medidas na eficiência da gestão dos recursos disponíveis e na eficácia do tratamento dos utentes.
- Fornecer um serviço inovador com intuito de melhorar e simplificar o acesso às urgências hospitalares por parte dos utentes. Para cumprir esse objectivo, o SIEMA tem duas vertentes básicas e integradas, uma destina-se ao apoio à população e a outra para facilitar a gestão e agilizar o funcionamento dos serviços prestados pelos profissionais da área de Saúde. Para ir ao encontro destas duas vertentes, o sistema proposto:
 - a) Disponibiliza informações sobre as entidades de saúde ao público em geral;
 - b) Faz triagens em caso de urgência;
 - c) Encaminha o utente para a unidade hospitalar mais adequada;
 - d) Disponibiliza informação detalhada sobre triagens e encaminhamentos às entidades da área da saúde.

A adopção do SIEMA por parte das unidades de saúde e a adesão dos utentes aos serviços disponibilizados diminuirá o tempo de espera e reduzirá a afluência de utentes às urgências, permitindo otimizar a relação custo versus benefício na área da saúde.

Independentemente das dificuldades, a implementação de um sistema de apoio aos utentes de serviços de saúde é uma tendência universal e irreversível. É vista como solução primária e adequada onde há uma crescente demanda por serviços e acções de saúde, como é o caso de Angola.

1.6 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho proposto para o doutoramento direccionam-se para a área de sistemas de informação, em particular para o apoio ao sistema nacional de saúde em Angola, concretamente na emergência hospitalar, que apresenta lacunas consideráveis que afectam quer os utentes quer os profissionais de saúde. Retomaremos o tópico contribuições com maior detalhe no capítulo 8 (Conclusões), no entanto podemos referir que este trabalho contribui com:

- Especificação e implementação de um sistema de simulação a ser utilizado por decisores políticos e pessoal do sector da saúde para a construção de cenários. Recorre-se à simulação social baseada em agentes para concretizar dois modelos distintos de acesso a estas emergências. Os agentes representam intervenientes nas emergências médicas e é dado ênfase aos fluxos e à distribuição dos utentes pelas entidades hospitalares. [Calado e Antunes, 2012]
- Uma arquitectura baseada em agentes em que estes assumem a realização das tarefas de pré-triagem e encaminhamento de utentes para as unidades hospitalares em Angola e também de apoio aos utilizadores do interface e às entidades hospitalares.
- Uma ontologia exploratória implementada em *Protégé* que explicita os conceitos e relações relevantes para a área das emergências médicas. Dá-se ênfase às patologias prevalentes em Angola.
- Algoritmo para ordenação das entidades de saúde visando identificar as que têm maior disponibilidade para atender os pacientes;
- Protótipo de um sistema de informação que implementa a arquitectura baseada em agentes. Permite aos utilizadores solicitarem triagem e encaminhamento para entidades de saúde e permite às entidades de saúde obter informação sobre os utentes que lhes estão a ser direccionados.

1.7 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho recorreu-se à combinação de várias metodologias, cada uma mais adequada à fase tratada. Começou por fazer-se uma pesquisa documental e bibliográfica e uma revisão da literatura sobre simulação social, sistemas multi-agente e engenharia de software. Foi feito um levantamento sobre a real situação da saúde em Angola e, em particular, a utilização dos sistemas de informação no Serviço Nacional de Saúde. Falou-se com médicos e prestadores de cuidados de saúde.

A esfera da simulação social assenta na construção de cenários concretos e afinção dos modelos, pelo que a metodologia de investigação seguida tem um cunho marcadamente experimental. O protótipo de simulação revelou-se como um caso de estudo exploratório que motivou a construção de um protótipo baseado em agentes para organizar o acesso às emergências hospitalares.

Tentar provar que os serviços de emergência hospitalar são um campo de estudo adequado à aplicação de sistemas baseados em agentes implicou a construção de um protótipo que incorpora estas técnicas para resolução das suas tarefas fulcrais. A validação do protótipo foi feita junto de utilizadores do Serviço Nacional de Saúde.

A implementação dos protótipos foi dividida em duas fases e estas em sub-tarefas [Figura 1.2]. Este processo não foi estanque, as sub-tarefas dentro de cada fase foram afinadas de uma forma interactiva.

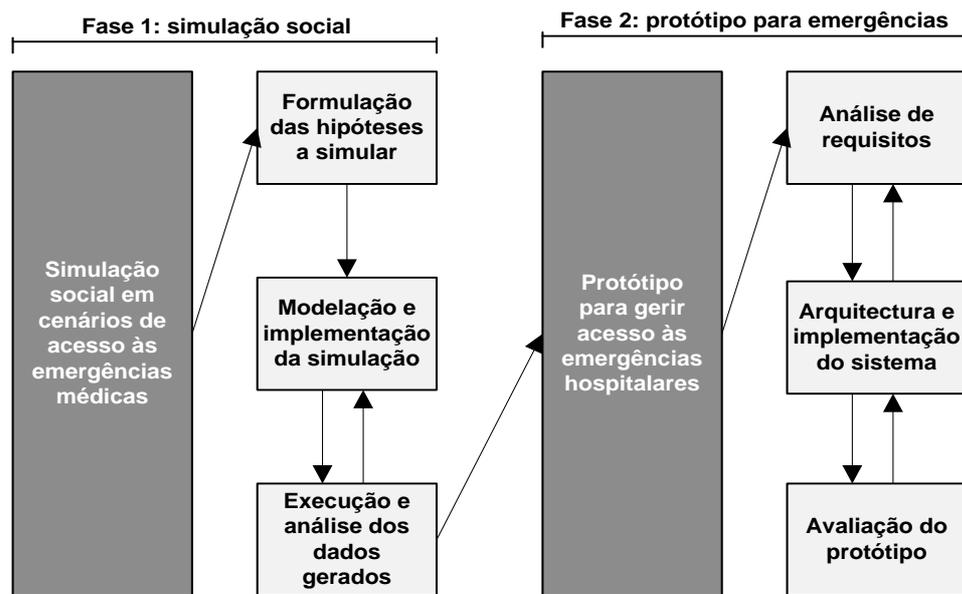


Figura 1.2: Metodologia utilizada no âmbito dos sistemas desenvolvidos.

A metodologia de desenvolvimento utilizada para desenhar e construir os protótipos é analisada com detalhe no capítulo Tecnologias.

1.8 Estrutura do documento

O presente documento encontra-se organizado da seguinte forma:

- O primeiro capítulo, a Introdução, disposto no presente capítulo, apresenta um enquadramento genérico do objectivo, a relevância do tema, a familiarização com alguns aspectos necessários para a compreensão deste trabalho, bem como a estrutura do documento.
- No segundo capítulo, “Situação da Saúde em Angola”, traça-se um quadro geral do panorama de saúde em Angola, nomeadamente, a organização do sistema público e a prestação de serviços de saúde, os recursos atribuídos à área e a utilização das tecnologias de informação.
- No terceiro capítulo é apresentado de uma forma abrangente o estado da arte da área da presente proposta, mais concretamente, as metodologias da simulação baseada em agente e os sistemas multi-agente aplicados à área da saúde. Referem-se ainda alguns obstáculos à utilização dos sistemas multi-agente nesta área.

- No quarto capítulo, “Opções tecnológicas”, faz-se uma breve descrição e apresenta-se os aspectos relevantes das tecnologias utilizadas para esta proposta e fundamenta-se a escolha das mesmas.
- No quinto capítulo, “Agentes e Sistema Multi-Agente no SIEMA”, é apresentado o conceito de agente, quer na perspectiva de agente autónomo quer na sua integração em sistemas multi-agente. Descrevem-se os agentes implementados, as suas características e atribuições no SIEMA, bem como a ontologia utilizada no sistema multi-agente.
- No sexto capítulo, “Simulação Social no SIEMA”, aborda-se a problemática da optimização de políticas para o sistema de emergência hospitalar. Justifica-se a utilização da simulação social baseada em agentes e explica-se o modelo da simulação desenvolvido, as perguntas experimentais e são explorados os resultados obtidos e feita a avaliação destes resultados.
- No sétimo capítulo, “Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas”, apresenta-se a concretização de um protótipo de apoio a gestão das emergências médicas para o sistema nacional de saúde em Angola, na óptica da engenharia de software, isto é, análise dos requisitos, os diagramas UML e arquitectura do SIEMA em três camadas.
- No oitavo capítulo, “Conclusão”, a proposta termina, com uma avaliação crítica do trabalho realizado, as futuras linhas de pesquisa que podem ser desenvolvidas para dar a continuidade à nossa proposta e as contribuições deste trabalho.
- Por fim são apresentadas as referências bibliográficas.

2. Situação da Saúde em Angola

“Tudo o que vale a pena ser feito merece e exige ser bem feito”.

Philip Chesterfield

A primeira dificuldade que se coloca quando é necessário traçar um quadro geral da saúde em Angola é a inexistência de dados actualizados em quantidade e qualidade suficientes, quer em relação à informação directamente relacionada com a saúde, quer em relação a outros factores que influenciam grandemente o estado de saúde das populações, como as condições sanitárias.

2.1 Indicadores de saúde da população

De uma forma geral, avaliando os principais indicadores de saúde utilizados, o estado da saúde da população angolana caracteriza-se por uma esperança de vida baixa, uma mortalidade infantil e materna elevada, uma alta prevalência de doenças transmissíveis associadas a condições sanitárias deficientes. Apesar dos progressos registados nos últimos anos nos indicadores de saúde, estes valores continuam a colocar Angola numa situação pior do que a média regional e mundial.

	Angola	Regional	Mundo
Esperança de vida ao nascer em anos - homens	51	52	66
Esperança de vida ao nascer em anos - mulheres	53	56	71
Mortalidade menores de 5 anos por 1000 nados vivos	161	127	60

Tabela 2.1: Alguns dos principais indicadores de saúde em 2009

Os valores destes indicadores são em grande parte resultado das más condições higiénico-sanitárias, de acesso a água potável deficiente, da falta de acesso e/ou resposta conveniente do sistema de saúde em relação à prevenção de doenças, à saúde materno-infantil e ao tratamento de quadros clínicos agudos (como diarreias, infecções respiratórias) e à falta de conhecimento disponível para as populações que possibilite e incentive a prática de cuidados preventivos das mesmas a nível pessoal e familiar.

2.2 Organização do sistema público de saúde

As unidades que prestam cuidados de saúde em Angola são classificadas e agrupadas hierarquicamente em:

- **Cuidados primários**

São a primeira linha de contacto das populações com o sistema de saúde e incluem: posto de saúde e centro de saúde (entidades de nível comunitário).

- **Cuidados secundários**

São as instituições de referência para os cuidados de nível primário e são constituídos pelos centros de saúde de referência e pelos hospitais municipais.

- **Cuidados terciários**

Constituem o nível de referência para as entidades dos cuidados secundários e são prestados pela rede de cuidados diferenciados (hospitais gerais, centrais e de especialidade e estabelecimentos e serviços especiais).

A característica mais notória a nível da organização do sistema de saúde é o processo de descentralização que o Governo tem levado a cabo. Como exemplo destas medidas de descentralização, temos a passagem da responsabilidade pelo atendimento primário do nível provincial para o municipal e o apoio dado às entidades municipais e provinciais para que se tornem mais autónomas a nível de planeamento, administração e orçamentação.

A descentralização, acompanhada de um reforço das infra-estruturas de saúde e outras, visa permitir um acesso mais fácil às instituições e constitui uma aposta nos serviços de atendimento primário e consequentemente na prevenção de doenças e educação para a saúde que são essencialmente da responsabilidade deste tipo de serviços.

Por outro lado, o sistema de referência e contra-referência proposto pelo Ministério da Saúde (MINSa) em 2009, que é usado para reencaminhar os utentes entre as unidades de saúde dos diversos níveis de cuidados, tem uma operacionalidade limitada, não é suficientemente detalhado e a informação não flui tão célere e eficazmente quanto necessário entre as diversas entidades. Ora isto, de certa forma, não permite um maior sucesso da descentralização.

2.3 Prestação de serviços de saúde

O investimento na saúde em Angola cresceu de 2,4% do PIB em 2000 para 4,6% em 2009 «'Angola - *National Expenditure on Health*', OMS, Abril 2011», sendo que 89% é investimento público. Foi feito um esforço na criação de infra-estruturas orientadas por mapas sanitários provinciais para atendimento de cuidados de saúde primários tendo a cobertura deste tipo de cuidados crescido.

Serviços de saúde	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Hospitais centrais	7	11	11	11	11	20
Hospitais gerais	41	37	45	42	42	45
Hospitais municipais	147	135	146	165	146	165
Centros de saúde	292	324	359	365	364	374
Postos de saúde	1441	1786	1841	1791	1114	1772
Total	1973	2297	2402	2369	2337	2376

Tabela 2.2: Evolução da rede de entidades prestadoras de cuidados de saúde

2.3.1 Qualidade

Não existe ainda uma sensibilidade notória para a prestação de cuidados de saúde de qualidade. As entidades não são orientadas para melhorar o desempenho e a eficiência na prestação dos seus serviços de saúde.

Algumas entidades, como as unidades que prestam cuidados de saúde primários, não têm a autonomia orçamental suficiente e dessa forma não se sentem incentivadas a fazer o planeamento da utilização dos recursos.

Os profissionais da área da saúde não recebem incentivos monetários ou outros associados à produtividade ou à qualidade dos serviços que prestam. Os vencimentos consistem numa parte fixa e noutra relativa a vários subsídios, mas também os incentivos que promovem a fixação destes recursos em zonas rurais ou remotas não são suficientes para estimular uma distribuição mais equilibrada desses recursos pelo país.

2.3.2 Informação

A informação sobre recursos, utilização dos serviços, quadros epidemiológicos ou informação sobre os utentes, que é recolhida pelas unidades que prestam cuidados de saúde primários, não é passada para as entidades com capacidade de atribuir orçamentos. De uma forma geral, a problemática da falta de acesso à informação é extensível quer às diversas entidades e unidades do sector da saúde (essencialmente causada por problemas de coordenação entre as mesmas) quer também em relação à informação que deveria ser divulgada pelo sistema nacional de saúde para os utentes desses serviços ou outras pessoas interessadas.

De salientar, no entanto, que já se começa a fazer notar alguma divulgação de informação, nomeadamente através do sítio do MINSA disponível na internet, apesar ter sido apontado que este meio é algo elitista, levando em conta a elevada iliteracia da população e o mau estado das infra-estruturas de comunicação.

O esforço que se tem feito na área dos sistemas de informação de saúde tem sido mais notório desde 2005. Desde essa altura têm-se elaborado mapas sanitários provinciais que são usados como base para tomar decisões a nível da gestão das entidades de saúde

municipal. Também existem progressos a nível da utilização de um sistema de inventariação de medicamentos.

2.3.3 Recursos materiais

Os equipamentos e recursos materiais utilizados na área da saúde enfermam de três problemas: são insuficientes em relação à procura (por exemplo camas, material para análises clínicas, equipamento básico); estão obsoletos face às exigências técnicas da medicina actual; ou estão inoperacionais devido à falta de manutenção. A insuficiência de recursos está directamente relacionada com o planeamento do aprovisionamento (que é prejudicado pela falta de informação sobre a utilização dos serviços), com restrições a nível orçamental e com a falta de um sistema de inventário dos recursos actualizado e exaustivo. Em particular, no caso das urgências hospitalares, a distribuição inadequada dos utentes agudiza a visibilidade das lacunas neste âmbito dos recursos materiais.

2.4 Agentes na saúde e papéis desempenhados

Neste trabalho consideram-se quatro grupos de agentes fundamentais para o sistema de saúde, considerando a função e importância que estes têm no traçar de políticas de gestão do serviço de saúde:

- Decisores políticos (responsáveis por traçar as políticas do sector da saúde) e gestores do Ministério da Saúde (e de outras entidades que são relevantes para estabelecer ou condicionar orientações, como o Ministério das Finanças), organismos reguladores, entidades de supervisão. A elaboração e execução de políticas são a principal responsabilidade destes agentes e como exemplo podem ser dadas a elaboração de estratégias para a saúde municipal; a regulação, planeamento e capacitação do sector; o estabelecimento de programas de saúde pública; a concretização de políticas através da gestão de entidades hospitalares.
- Entidades que prestam cuidados de saúde, que podem ser, entre outras, postos e centros de saúde, hospitais públicos ou privados, empresas

farmacêuticas, fornecedores de material e de serviços ligados à área hospitalar.

- Utente que recorrem às entidades ligadas à prestação de cuidados de saúde para prevenir ou tratar de problemas de saúde. Este grupo é bastante heterogéneo, podendo ser agrupado de diferentes formas consoante o objectivo da análise ou conveniência dos serviços:
 - a) Por tipos de doença (contagiosa/não contagiosa; crónica/aguda, etc);
 - b) Por serviços a que necessita recorrer (saúde pediátrica; cuidados materno-infantis; serviços de urgência; consultas hospitalares);
 - c) Características demográficas.
- Prestadores de cuidados médicos e paramédicos, que engloba os médicos, enfermeiros, técnicos de diagnóstico, parteiros, farmacêuticos, fisioterapeutas, socorristas. A amplitude das diferentes funções destes profissionais é um factor que acrescenta um elevado grau de complexidade à gestão e à optimização das políticas de saúde.

No contexto angolano existe também o recurso pelas populações (especialmente por motivos económicos, geográficos ou sociais ou pela ineficácia da resposta dada pela medicina moderna), à medicina tradicional angolana, praticada por curandeiros e parteiras tradicionais. No entanto, estes agentes não foram considerados nesta proposta tendo em conta do carácter informal das suas actividades, porque está fora do controlo das autoridades competentes.

2.5 Profissionais de saúde, principais desafios

Segundo dados do MINSA referentes a 2009, o sector público da área da saúde tem cerca de 67000 trabalhadores, sendo que aproximadamente 38000 são prestadores de cuidados médicos e paramédicos.

Angola enfrenta ainda três desafios em relação ao pessoal médico e paramédico: a quantidade, a distribuição dos recursos e a sua capacitação técnica.

Em relação à quantidade de recursos humanos, há dois constrangimentos: por um lado, um número insuficiente de médicos (Angola tem 0,8 médicos por cada 10000 habitantes, quando a média da região é de 2,3 – OMS 2009) e, por outro lado, existe uma proporção excessiva de recursos no nível técnico básico. O desafio é dar formação a estes técnicos, por forma a passarem para o nível intermédio, e também continuar o esforço que tem sido feito para colmatar a falta de médicos – para resolver o problema no médio prazo foram criadas mais cinco faculdades de medicina e no curto prazo optou-se pelo recurso temporário a médicos expatriados.

Geograficamente, a distribuição dos profissionais é desequilibrada, sendo que algumas províncias são mais deficitárias na quantidade de médicos e restantes trabalhadores da saúde do que a globalidade do país. Adicionalmente a estes desequilíbrios entre as diversas províncias, existem também diferenças entre os meios urbanos e meios rurais, favorecendo os primeiros. As faculdades de medicina que foram criadas nas províncias (Benguela, Cabinda, Huambo, Huíla e Malanje) poderão eventualmente contribuir para a distribuição mais igualitária dos profissionais, mas para tal têm que se criar incentivos à sua permanência nas áreas mais desfavorecidas.

Profissionais	Valor mínimo (Província)	Valor máximo (Província)
Médicos	0,09 (Benguela)	0,56 (Namibe)
Enfermeiros	1,08 (Kwanza Sul)	5,13 (Namibe)
Técnicos	0,13 (Bié)	1,40 (Namibe)

Tabela 2.3: Mínimos e máximos de profissionais por 1000 habitantes *in* [MINSa, 2009]

O nível de qualificação dos prestadores de cuidados médicos e paramédicos ainda não é o desejado. As acções a concretizar são dar formação de base, mesmo no posto de trabalho, a muitos técnicos que não a possuem e fazer uma actualização permanente aos conhecimentos do pessoal que, tendo formação para as funções que executam, a mesma já não se encontra actualizada.

A dispersão dos dados referentes aos recursos humanos por vários organismos (MINSa, Ministério da Administração Pública e Emprego e Segurança Social, Ministério da Finanças, Ordem dos Médicos, entre outros)

e a inexistência de um mecanismo de coordenação para reunir, padronizar, tratar e monitorizar aqueles faz com que não exista informação ampla, actualizada e cabalmente fiável sobre os profissionais da área da saúde em relação à quantidade, habilitações e aptidões desses profissionais.

É consensual a melhoria que se tem verificado no sistema de saúde angolano, que se consegue com um aumento do investimento governamental nesta área e se reflecte mais notoriamente nos cuidados de saúde primários e na melhoria contínua dos indicadores de saúde de Angola. Apesar do caminho que se tem feito ser positivo, ainda existem ameaças ao desenvolvimento do sistema de saúde pública angolana que advêm de lacunas ao nível da transparência, da incipiente organização do sistema de informação de saúde e da responsabilização de entidades nesta área; das fracas condições de saneamento básico e acesso a água potável e da elevada taxa de analfabetismo.

2.6 Tecnologias de informação na área da saúde pública em Angola

A utilização das tecnologias de informação na área da saúde em Angola, à semelhança do que já acontece noutros países, poderia dar um contributo fundamental para a melhoria da qualidade dos cuidados de saúde prestados aos utentes. Ora, o que se verifica no Serviço Nacional de Saúde de Angola é uma escassa utilização destas tecnologias, apesar de se registarem alguns progressos. Apesar dessas melhorias, há implementações fundamentais que ainda não foram conseguidas e, à semelhança do esforço que foi feito para dotar os cidadãos de um cartão de eleitor, seria útil criar um cartão de utente de saúde que contivesse os dados deste e permitisse a sua identificação inequívoca junto dos prestadores de cuidados de saúde.

2.6.1 Contributo das Tecnologias de Informação para a disponibilização de informação aos utentes

Este contributo é ainda muito irrelevante no sector público da saúde. A informação disponível na internet é escassa. Apenas algumas

entidades públicas têm presença na Internet, entre elas, destaca-se o MINSA (www.minsa.gov.ao), o Instituto Nacional de Luta contra a Sida (<http://sida.gov.ao/>) e o Instituto Nacional de Emergência Médica de Angola (<http://inema.co.ao/portal/>). No entanto, a informação disponibilizada na Internet por essas entidades é insuficiente (por exemplo no sítio www.minsa.gov.ao apenas constam cinco prestadores de serviços de Saúde, todos da Província de Luanda) e frequentemente encontra-se desactualizada. Paralelamente, algumas entidades privadas de referência têm sítios na Internet com o objectivo de se darem a conhecer ao público.

Por outro lado, não existe um portal geral de saúde especificamente orientado aos utentes, onde estes possam obter informações úteis e relevantes em relação às entidades que prestam os serviços de saúde, quais e como aceder aos serviços disponibilizados, como também, informações de carácter geral sobre a saúde.

Acrescido a esses factores, temos, como referido no ponto 2.3.2, a baixa escolaridade e a dificuldade de acesso à Internet por parte dos utentes, em especial os que utilizam o sector público da saúde, que são os mais carenciados a nível económico.

2.6.2 Utilização das Tecnologias de Informação na gestão das entidades de saúde

Os sistemas de gestão hospitalar, quando bem implementados, contribuem positivamente para aumentar a eficiência na prestação dos cuidados de saúde. O que se verifica na prática, é que a utilização desses sistemas é pouco frequente no sistema nacional de saúde em Angola.

O uso dos sistemas de gestão hospitalar não é sistemático dentro das entidades de saúde, isto é, existem áreas ou processos que estão informatizados (por exemplo, o arquivamento digital ou exames de imagiologia em suporte digital), mas outros funcionam sem recurso a tecnologias de informação, e isto causa entropias várias que

acabam por criar problemas acrescidos, tais como dificuldades de comunicação entre os serviços, atrasos e falhas no atendimento aos utentes. Algumas entidades prestadoras de serviços de saúde têm sistemas de registo de utentes, no entanto, não há uma articulação dentro das próprias entidades entre os vários serviços que fazem o atendimento. O utente abre registo num serviço, mas, se for encaminhado para outro, podem não existir dados seus nesse serviço, o que obriga o utente a transportar consigo os exames feitos num determinado serviço, uma vez que a circulação de informação não é feita através de um sistema informático da entidade.

Os sistemas informáticos são planeados, mas por vezes acabam por não chegar à fase de desenvolvimento ou de implementação nos hospitais e outras entidades de saúde. Por outro lado, quando os sistemas informáticos existem, nota-se resistência à sua utilização e dificuldades de manutenção das infra-estruturas informáticas que os suportam.

2.6.3 Utilização das tecnologias de informação para gerir a informação da saúde entre as entidades ligadas à saúde

Em Angola existe o ‘Sistema de Informações de Saúde’ (SIS), cujo objectivo é o de reunir e articular entre vários organismos (MINSA, Governo Provincial, Instituto Nacional de Estatística, Ministério da Defesa, Ministério do Interior, Ministério da Saúde e Sector Privado) informação relevante sobre a saúde, como registos de pacientes, informações estatísticas a nível local e nacional e informações de rotina que emergem das entidades prestadoras de saúde. Um Sistema de Informações de Saúde com informação exhaustiva e actualizada é fundamental para a tomada de decisões ao mais alto nível na área da saúde. No entanto, citando o *Relatório de avaliação nacional do sistema de informação sanitária (SIS)*, MINSA – GEPE, Luanda, Março 2010: Até hoje não existe uma informação sobre a saúde completa e abrangente no País que integra os dados de todos estes actores. (acima mencionados).

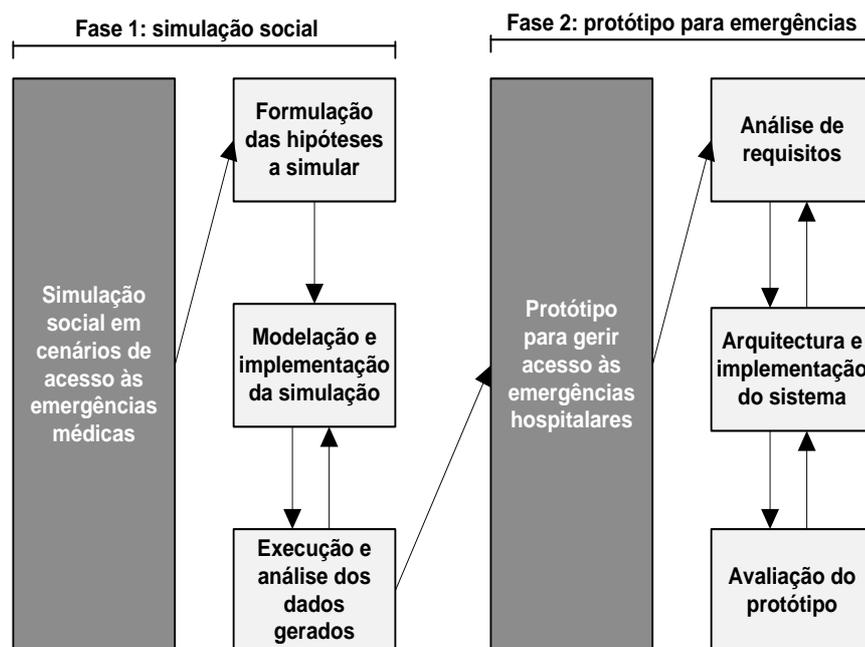


Figura 2.1: Estratégia para a criação do SIS em Angola *in* [MINSA, 2010]

O que se verifica é que o Sistema de Informações de Saúde não está adequadamente informatizado e articulado. A informação sobre a saúde está dispersa pelas várias entidades que recolhem os dados. Estas têm sistemas informáticos distintos. Não existe uma uniformização dos métodos de recolha, tratamento, análise e armazenamento dos dados por parte das várias entidades. Em 2001 teve início a concepção da base de dados específica para o Sistema de Informação, mas a mesma não se encontra operacional.

Nome do Projecto	Unidade responsável	Produtos/Resultados	Período	Suporte financeiro
Projectos e Intervenções de reforço do SIS que foram iniciados e actualmente paralisados				
Actualização da base de dados nacional do pessoal da saúde	DNRH	Gestão e desenvolvimento dos recursos humanos	2006-2013	UE, OMS
Concepção da base de dados (Grafowim)	GEPE	Informatização do SIS	2001	UE, MINSA

Tabela 2.4: Projectos informáticos para melhoria do SIS *in* [MINSA, 2010]

As infra-estruturas de tecnologias da informação são deficitárias, especialmente a nível das estruturas públicas municipais. Não existem redes de comunicação a ligar as entidades públicas

relevantes para esta temática, nem distribuição automática de dados. As poucas bases de dados existentes não têm informação fiável e exhaustiva, frequentemente os dados circulam através de formulários em papel e não são registados nos sistemas informáticos. Adicionalmente, existem também dificuldades ao nível da capacitação técnica dos recursos humanos directamente relacionadas com o Sistema de Informação de Saúde.

3. Estado da Arte

“Nenhuma grande descoberta foi feita jamais sem um palpite ousado”.

Isaac Newton

A saúde é um dos temas que mais interessa às pessoas, dado que é dos mais relevantes para a sua qualidade de vida. Vários ramos da ciência têm vindo ao longo dos séculos a dar contribuições fundamentais para que os cuidados de saúde sejam cada vez mais eficazes, pensando não só numa perspectiva de curar doenças, como também de evitá-las. Como em tantas outras áreas, os avanços são conseguidos através dum esforço colaborativo, em que cada ramo da ciência participa com o seu conhecimento e tecnologia e, por sua vez, se enriquece também através das sinergias criadas nesse processo de procurar e apresentar soluções para os problemas práticos que se colocam.

A informática enquanto ciência e enquanto tecnologia também tem contribuído de uma maneira fundamental para os avanços na área da saúde, particularmente pela capacidade em gerir grandes quantidades de informação, em extrair dessa informação os padrões e conhecimentos relevantes, e em tornar possíveis ou cada vez mais eficazes tecnologias e dispositivos de diagnóstico e tratamento médico.

O interesse pela utilização de sistemas multi-agente (SMA) na área da saúde tem crescido nos últimos dez anos e constitui um tópico bem desenvolvido a nível académico. Em 2002 houve o primeiro workshop de agentes aplicados à área da saúde (*Agents Applied in Health Care - ECAI 2002*). Desde então foi organizada a *ECAI 2004, IJCAI 2005, ECAI 2006, AAMAS 2008, eHealth 2010, IJCAI 2011, AAI 2011,*

AAAI 2012, A2HC 2012. Entre a comunidade científica europeia criou-se dois grupos de interesse, o ‘AgentCities European project’ e o ‘AgentLink III Technical Forum Group on Healthcare Applications of Intelligent Agents’ que contribuíram para a criação e divulgação de projectos nesta área de conhecimento.

Existem requisitos fundamentais para o uso da computação na área da saúde: a natureza necessariamente distribuída e heterogénea dos serviços, a diversidade dos dados e a segurança da informação, nomeadamente no que diz respeito à informação privada dos pacientes. São estes requisitos que tornam a utilização dos SMA interessante, uma vez que as propriedades dos agentes inteligentes (autonomia, reactividade, pró-actividade, habilidade social, crenças, intenções, conhecimento, etc.) podem ir ao encontro desses desafios.

Os tópicos mais actuais, citando o *workshop A2HC 2012* (Valência Junho 2012) são:

- Cooperação entre agentes para melhorar a gestão de pacientes;
- Agentes para a área de prestação de cuidados remotos e a idosos;
- Agentes que fornecem informação sobre serviços médicos;
- SMA para monitorização e diagnóstico de pacientes;
- SMA para o treino ou educação médica (*tutoring systems*);
- Aplicações baseadas em agentes centradas nos pacientes;
- Sistema de suporte à decisão para a área da saúde baseado em agentes;
- Agentes de informação que reúnem, compilam e organizam conhecimento médico disponível na internet;
- Questões legais e éticas relacionadas com o uso de agentes na área de cuidados de saúde;
- Levantamento do estado da arte actual na área de agentes para a saúde;
- Casos de sucesso do uso na área da saúde de sistemas de agentes e SMA;
- Soluções para os problemas tecnológicos e metodológicos básicos associados à utilização real de sistemas baseados em agentes na área da saúde: segurança e privacidade da informação médica; aceitação social dos sistemas baseados em agentes; integração e uso de ontologias médicas; falta de controlo centralizado; normas de comunicação e por fim integração com diversos tipos de software.

3.1 Metodologia de Simulação baseada em Agentes para a área da Saúde

Vários autores têm-se debruçado sobre a forma mais adequada para construir sistemas de simulações baseada em agentes aplicados à área da saúde. Daí a existência de projectos e trabalhos científicos diversificados, apesar da falta de consenso em relação as melhores paradigmas e ferramentas para o desenvolvimento das aplicações do género. Neste âmbito, podem referir-se a título de exemplo alguns projectos como os descritos abaixo:

- (1) *Agent based simulations in healthcare* [Bilge & Saka, 2006], que apresenta o protótipo de um simulador baseado em agentes para monitorização da doença pulmonar obstrutiva crónica.
- (2) *Building a health care multi-agent simulation system with role-based modeling* [Zhang *et al.*, 2007], que explica um protótipo multi-agente desenvolvido utilizando a ferramenta RADE (*Role-based Agent Development Environment*) para simular os papéis e as actividades que ocorrem dentro de um sistema de saúde.
- (3) *Managing healthcare workflows in a multi-agent system environment* [Hill *et al.*, 2005], que dá particular ênfase à captura de fluxos organizacionais e à expressão, verificação e especificação dos mesmos num formato adequado para os SMA aplicados à área da saúde.
- (4) *Protecting health care workers: a pandemic simulation based on Allegheny County* [Cooley *et al.*, 2010] apresenta uma simulação baseada em agentes (SBA) que estuda a evolução de uma pandemia e os seus impactos nos prestadores de cuidados de saúde envolvidos.
- (5) *Toward a Conceptual Agent-based Framework for Modelling and Simulation of Distributed Healthcare Delivery Systems* [Charfeddine & Montreuil, 2008] fornece um protótipo genérico para modelação e simulação baseada em agentes na área da saúde, com linhas de orientação para o processo de desenvolvimento do modelo.
- (6) *An Efficient Simulation-based Approach to Ambulance Fleet Allocation and Dynamic Redeployment* [Yue *et al.*, 2012] apresenta

um sistema baseado em simulação de uma frota de ambulâncias numa determinada cidade, gerindo a alocação e o reposicionamento dinâmico de forma a lidar com a problemática do congestionamento e do aparecimento de novos focos de urgência, com o objectivo de maximizar os serviços de emergência médica.

3.2 Sistemas multi-agente aplicados na área da saúde

Os SMA são aplicados na área da saúde em várias vertentes, e considerando o fim a que os mesmos se destinam, podem agrupar-se em:

- Sistemas distribuídos de diagnóstico;
- Gestão de informação médica;
- Telemonitorização de pacientes e apoio à vida;
- Optimização de fluxos das emergências hospitalares;
- Telecirurgia;
- Implantes.

3.2.1 Sistemas distribuídos de diagnóstico (SDD)

A área de diagnóstico médico é aquela em que primeiro se utilizou sistemas baseados em SMA. Esta utilização advém do reconhecimento da complexidade inerente à decisão médica e, actualmente, à dispersão da informação em vários repositórios e formatos, nomeadamente, registos electrónicos de saúde dos pacientes (*Electronic Healthcare Records* - EHR). Os SDD reúnem dados provenientes de várias fontes e recorrem ao uso de bases de conhecimento, reconhecimento de padrões, ontologias e outras técnicas de inteligência artificial para ajudar médicos e outros técnicos no diagnóstico e prognóstico de problemas de saúde.

Dentro desta área existem projectos já desenvolvidos, como os mencionados abaixo:

- **HECASE2 (Health Care Services)** [Isern *et al.*, 2012] - É uma plataforma distribuída que utiliza o paradigma multi-agente e pode ser utilizada pelos pacientes e pelos profissionais prestadores de cuidados de saúde, permitindo a estes últimos a execução de orientações clínicas. *HECASE2* utiliza ontologias para representar o conhecimento médico. O acesso aos registos electrónicos dos pacientes é controlado por um agente que implementa medidas de segurança, tendo em atenção a natureza privada desta informação.
- **Health Agents** [Vélez *et al.*, 2009] - É um projecto de apoio à decisão utilizado para melhorar a classificação de tumores cerebrais, contribuindo para um diagnóstico e prognóstico mais eficaz. Este sistema utiliza informação clínica dos pacientes, perfis de ADN e dados provenientes de ressonâncias magnéticas disponíveis em hospitais por todo o mundo. Recorre a ontologias e grafos conceptuais para representação e pesquisa de informação num contexto de interoperabilidade. Avalia a qualidade dos dados disponíveis em repositórios de informação locais (por exemplo, base de dados com registo de tumores) e tem métodos de reconhecimento de padrões nos dados recolhidos.

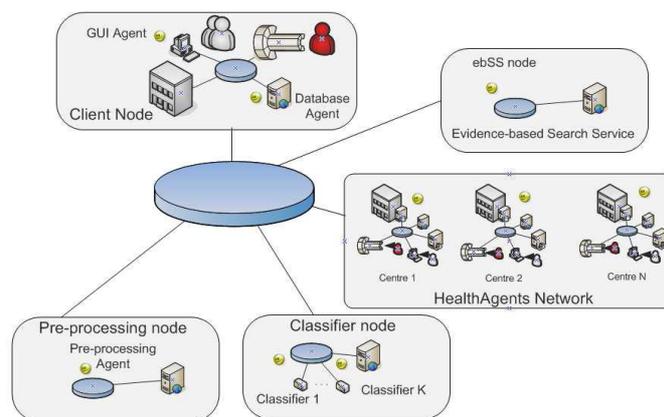


Figura 3.1: Arquitectura *Health Agents* com vários nós [Vélez *et al.*, 2009]

- **OHDS (Ontology-based Holonic Diagnostic System)** [Hadzic *et al.*, 2006] - Neste sistema a informação heterogénea

dispersa por várias origens é obtida de forma dinâmica. O referido sistema recorre a mecanismos de consenso que determinam as diferenças entre as várias fontes de conhecimento e conciliam numa regra mais genérica. O resultado da conciliação é um modelo para mapear essa informação em ontologias fornecendo conhecimento útil para ser utilizado no diagnóstico e tratamento de doenças.

- **MET3 (Mobile Emergency Triage)** [Shirabad *et al.*, 2012] - Um protótipo que utiliza SMA no apoio à decisão médica através da recolha de dados, formulação de diagnósticos, planeamento de tratamento e evidências que suporta as decisões tomadas pelos prestadores de cuidados de saúde. O protótipo *MET3* é multi-plataforma e pode interagir através de mensagens *HL7* (*Health Level 7*, uma norma de troca de dados electrónicos no domínio da saúde) com os sistemas de informação hospitalar, nomeadamente os registos electrónicos dos pacientes.

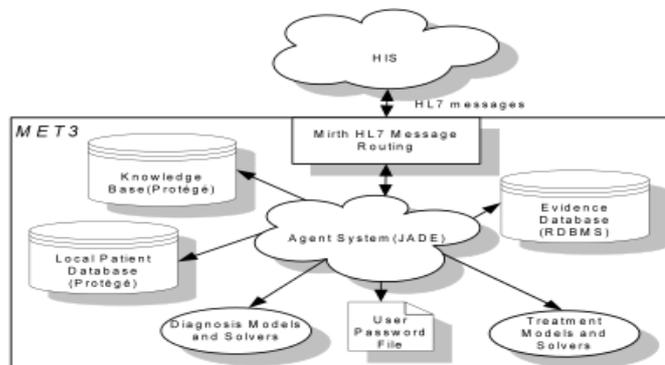


Figura 3.2: Arquitectura de MET3 [Shirabad *et al.*, 2012].

3.2.2 Gestão de informação médica

Estes sistemas permitem reunir, filtrar e organizar informação médica, em virtude do permanente crescimento da quantidade deste tipo de informação disponível em formato electrónico.

- **Integration of Hospital Data Using Agent Technologies** [Correia *et al.*, 2005] - Os agentes neste caso acedem a

documentos, tais como relatórios clínicos e historial médico dos pacientes disponíveis em vários sistemas de uma instituição, nomeadamente sistemas legados distribuídos, e disponibilizam a informação através de uma interface web aos profissionais de saúde. Este protótipo tem três componentes principais: um SMA responsável pela integração dos dados, um repositório central de dados que recebe a informação do sistema multi-agente e por fim um módulo responsável pela visualização da informação.

- ***Privacy-Aware Autonomous Agents for Pervasive Healthcare*** [Tentori *et al.*, 2006] apresenta um sistema inteligente denominado SALSA (*Simple Agent Library for Smart Ambients*) baseado em agentes que actuam num ambiente de tecnologias ubíquas e integração com vários dispositivos médicos, dando resposta aos pedidos do pessoal médico, considerando as suas necessidades, condições e tendo em especial atenção os requisitos de privacidade que se impõem neste tipo de aplicações. A figura abaixo mostra o digrama de estado do ciclo de vida de um agente SALSA, onde os estados “*Announcing*”, “*Filtering*” e “*Negotiating*” ajudam a garantir a privacidade dos utilizadores.

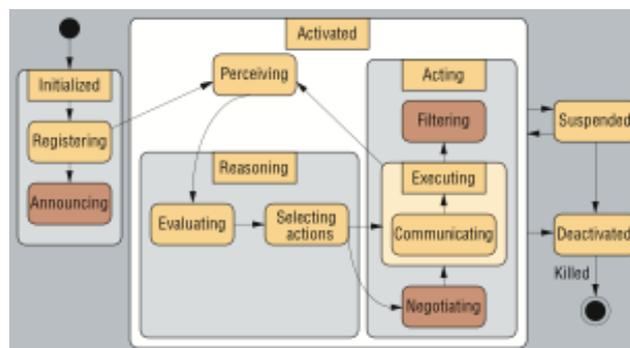


Figura 3.3: Ciclo de vida de um agente no sistema SALSA [Tentori *et al.*, 2006]

- ***Cross-Community Health Record Exchange*** [Urovi *et al.*, 2012] Apresenta uma solução baseada em agentes para a troca

de registos de saúde electrónicos entre organizações de saúde. As organizações estão modeladas como comunidades com serviços e regras para interagir entre elas com o objectivo de pesquisar, trocar e receber actualizações das informações mais relevantes dos utentes. Nesta solução as comunidades são criadas dinamicamente e as interacções entre as referidas comunidades são geradas de forma pró-activa.

3.2.3 Telemonitorização de pacientes e apoio à vida

Com o aumento da esperança média de vida assiste-se a um aumento da incidência de doenças crónicas e de outras condições comuns nas pessoas de idade mais avançada, como a redução da mobilidade. Este facto tem estimulado o desenvolvimento de aplicações que monitorizam os pacientes à distância, fornecendo serviços de cuidados de saúde domiciliários, ou também quando os pacientes se encontram em unidades hospitalares. Os sistemas de telemonitorização de pacientes utilizam sensores, tecnologias *wireless* e plataformas móveis para reunir e transmitir informação sobre a localização e os parâmetros fisiológicos dos pacientes. Com base na informação recolhida, os prestadores de cuidados de saúde podem monitorizar o estado dos pacientes, controlar as terapias administradas ou accionar mecanismos de emergência médica. Como exemplo deste tipo de sistema destacam-se:

- ***Universal Remote Signal Acquisition For health*** [Castanié *et al.*, 2003] - Introduce o sistema U-R-Safe (vide a figura 3.3) que está especialmente vocacionado para a prestação de cuidados médicos remotos a idosos e convalescentes fora do ambiente hospitalar. Recolhe e processa dados médicos lidos através de sensores ligados ao utente e envia-os através de redes fixas ou móveis, permitindo assim estabelecer a comunicação entre o utente dos serviços de saúde e os prestadores dos cuidados de saúde.

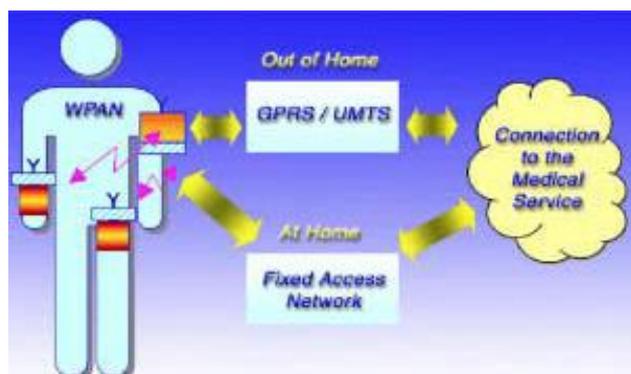


Figura 3.4: Conceito geral de U-R-Safe [Tentori 2006]

- ***Intelligent Healthcare Monitoring based on Semantic Interoperability Platform*** [Laleci *et al.*, 2008] - Neste projecto implementou-se um sistema denominado SAPHIRE para a monitorização de doentes crónicos, quer em ambiente hospitalar, quer fora do mesmo, com uma componente de apoio à decisão médica baseada em linhas orientadoras da prática clínica. O sistema recebe os sinais vitais do doente, acede ao seu registo médico electrónico (EHR) e aos módulos de fluxo de actividades clínicas do hospital. Vários agentes são responsáveis pelo funcionamento do sistema num ambiente heterogéneo e distribuído.
- ***Knowledge-Based HomeCare eServices for an Ageing Europe K4CARE Platform*** [Campana *et al.*, 2008] - É um sistema baseado em conhecimento que se destina a ser utilizado por vários profissionais que actuam na área da saúde (médicos, assistentes sociais, enfermeiros, etc.) e pelos próprios pacientes e familiares. O sistema disponibiliza funcionalidades diferentes consoante o papel que o utilizador representa e também funcionalidades de outros serviços que esta plataforma invoca. Permite a consulta do registo electrónico de saúde do paciente, auxilia o diagnóstico e permite a alteração de tratamentos em curso. A informação está disponível via internet e telemóvel, pelo que a segurança é uma característica vital deste sistema.

- SHARE-it (Supported Human Autonomy for Recovery and Enhancement)** [Cortés *et al.*, 2007] – É um sistema que se destina a auxiliar as pessoas com limitações cognitivas ou motoras (por exemplo, idosos com Alzheimer, pessoas com má visão, pacientes com Parkinson), mediando e coordenando a informação de e para vários componentes tecnológicos (como sensores e actuadores de cadeiras de rodas, equipamentos telemáticos na habitação). Este sistema monitoriza os sinais vitais da pessoa e auxilia na sua deslocação e movimentação, com o objectivo de que esta tenha mais autonomia e maior qualidade de vida.
- GerAmi (Geriatric Ambient Intelligence)** [Corchado *et al.*, 2008] - É um ambiente inteligente baseado em agentes com paradigma *BDI* (crenças, desejos e intenções) e raciocínio baseado em casos. Este sistema, testado em lares e outras instituições de apoio geriátrico, é particularmente direccionado para apoiar no dia-a-dia pessoas com Alzheimer.

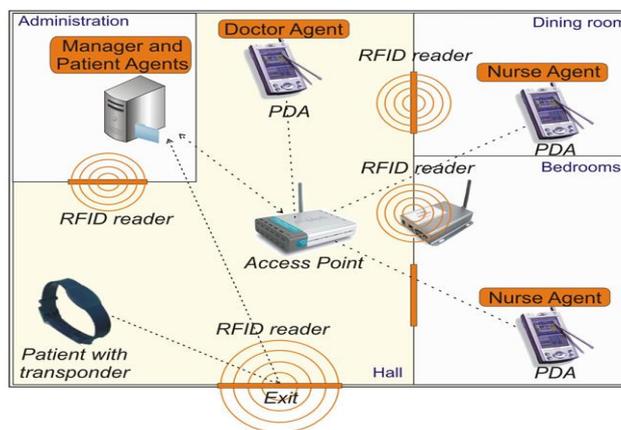


Figura 3.5: Arquitectura do projecto GerAmi [Corchado *et al.*, 2008]

Utiliza multi-agentes em conjunto com as tecnologias *RFID*, *Wi-Fi* e dispositivos móveis para prevenir situações que podem colocar a pessoa em risco (vide arquitectura do *GerAmi* na figura 3.5). A informação recolhida através destas tecnologias permite a calendarização de rotinas para os

enfermeiros, a indicação de acções ao paciente por parte do médico e a actualização dos registos médicos da pessoa.

- ***PalliaSys*** [Moreno *et al.*, 2005] –É um projecto vocacionado para a melhoria dos cuidados paliativos, particularmente no alívio da dor, prestados a doentes que se encontram em estado terminal, quer estejam internados em unidades de cuidados paliativos, quer estejam nas suas casas. O sistema monitoriza o estado de saúde do paciente, disponibiliza informação personalizada aos prestadores dos cuidados médicos e ao próprio doente, analisa os dados recolhidos e permite a construção de previsões sobre a evolução do estado de saúde dos pacientes.

3.2.4 Optimização de fluxos das emergências hospitalares

Estes sistemas são utilizados na gestão de emergências, de pacientes, de tarefas e *workflows* dentro do hospital, tornando mais eficiente a gestão dos recursos e auxiliando o pessoal médico no acesso móvel a registos médicos relevantes para o contexto de emergência médica ou outros. Podem destacar-se:

- ***ED-MAS (Emergency Department Multi-Agent System)*** [Daknou *et al.*, 2010] - É apresentado um protótipo baseado em SMA para gerir e coordenar dinamicamente em tempo real o escalonamento das actividades necessárias para o tratamento de pacientes num serviço de urgências hospitalares de forma a otimizar os recursos.

O escalonamento está dividido em três fases: (1) aplicação das regras das prioridades criando uma lista de espera; (2) avaliar a possibilidade de inserir ou não os doentes recém-chegados na lista de espera; (3) obrigar que uma tarefa em curso termine para que seja atendido um doente recém-chegado de maior gravidade.

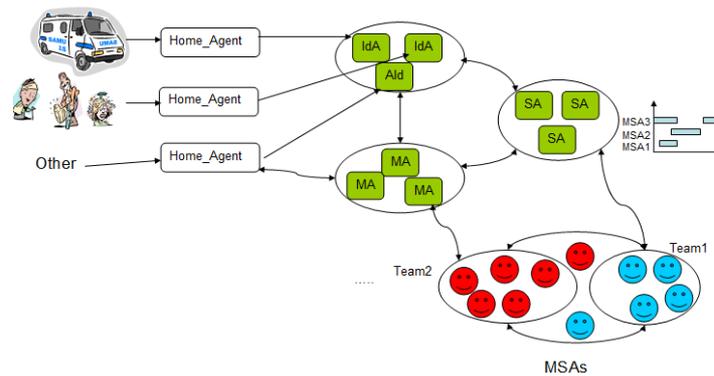


Figura 3.6: Arquitectura multi-agente do ED-MAS

- Patient Scheduling** [Paulussen *et al.*, 2006] - Este projecto apresenta um protótipo (vide a figura 3.6) baseado em SMA distribuídos para simular o escalonamento dos pacientes num hospital, em ambientes estocásticos, com vários graus de liberdade. O objectivo deste projecto é a minimização do tempo de permanência do paciente na unidade de cuidados de saúde e a optimização da utilização dos recursos hospitalares. Para alcançar esses objectivos implementou-se um mecanismo de coordenação baseado em leilões entre paciente e recursos, que por sua vez são modelados como agentes autónomos.

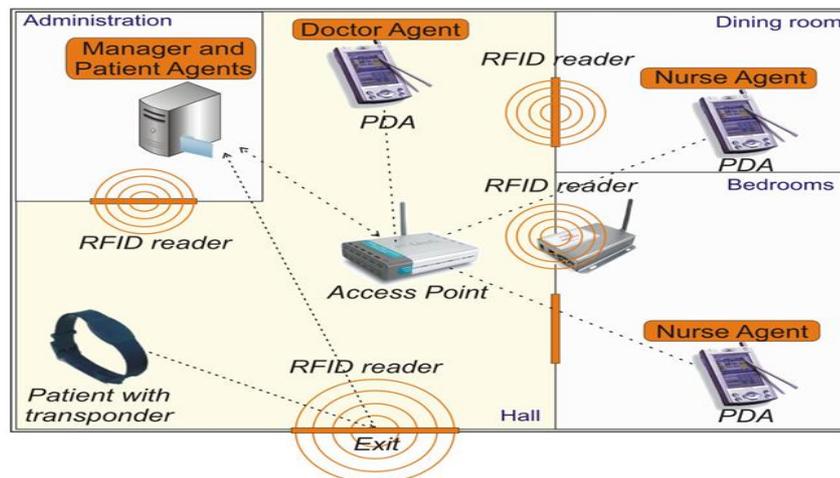


Figura 3.7: Implementação do protótipo [Paulussen *et al.*, 2006]

- CASCOM Intelligent Services Coordination in the Semantic Web** [Schumacher *et al.*, 2008] - Este projecto utiliza SMA, Web Semântica e tecnologia ponto-a-ponto para fornecer um serviço de apoio à saúde idealizado para utilização num

contexto de emergência médica, disponibilizando o histórico de saúde do paciente e facilitando a tomada de decisão por parte do profissional de saúde nesse contexto.

- **CARREL+** *Increasing Human-Organ Transplant Availability: Argumentation-Based Agent Deliberation* [Tolchinsky *et al.*, 2006] - É um sistema para gestão de transplantes entre diferentes instituições aderentes baseado em agentes e desenvolvido para aceder aos registos de pacientes em lista de espera para receber órgãos, verificar disponibilidades e coordenar a transferência de órgãos entre os hospitais. No **CARREL+** é proposto um modelo de argumentação para a selecção de órgãos designado “*PROCLAIM*” com um agente mediador para decidir a viabilidade da utilização do órgão em relação a um doador e um receptor.

3.2.5 Telecirurgia

Este tipo de tecnologia permite que sejam efectuadas cirurgias sem que os cirurgiões estejam fisicamente presentes junto do doente. Como exemplo, existe o sistema de telecirurgia ‘*da Vinci Surgical System*’, constituído essencialmente por dois componentes: uma consola a partir da qual o cirurgião vê o paciente e controla as acções que um robô (o segundo componente) executa no paciente.

3.3 Obstáculos à utilização dos sistemas multi-agente na Saúde

O grande desafio tem sido “dar o salto” para a utilização das aplicações construídas com o paradigma de SMA por parte das entidades prestadoras de cuidados de saúde. Existem ainda várias linhas de investigação que têm que ser aprofundadas para promover aquela utilização.

Verifica-se alguma relutância na utilização de SMA por parte do pessoal médico e dos utentes pelo facto de estes normalmente não serem envolvidos

nas várias fases do desenvolvimento (como o desenho de interface com o utilizador e definição das funcionalidades) dos projectos desta área, e de, apesar da tecnologia o permitir, não haver preocupação em personalizar as funcionalidades do sistema.

A nível legal existem dois problemas que limitam uma utilização mais generalizada dos SMA na temática da saúde, a realçar: por um lado não existe enquadramento legal, particularmente quando o sistema é aplicado no contexto internacional e, por outro lado, os sistemas a desenvolver deveriam incorporar as directivas legais nos requisitos dos próprios sistemas.

A falta de uma ferramenta genérica que facilite a reutilização de componentes de projectos com SMA já desenvolvidos obriga que sempre que projectos similares são criados têm de ser desenvolvidos desde o início.

Uma questão muito importante é por vezes não haver integração entre o sistema multi-agente e os sistemas legados que estão em utilização nas entidades de prestação de cuidados de saúde.

E, por fim, a inexistência de uma ontologia amplamente aceite que permita representar a informação médica dispersa por várias fontes, o que dificulta a interoperabilidade dos sistemas entre as diferentes instituições de prestação de cuidados de saúde.

4. Opções Tecnológicas do SIEMA

“Não há assuntos pouco interessantes, apenas há pessoas pouco interessadas”.

Gilbert Chesterton

Tendo em conta os objectivos da nossa proposta e a aplicabilidade do protótipo Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas, optamos por utilizar as tecnologias que nos parecem indicadas para a sua implementação, tais como: sistemas multi-agente, linguagem de modelação UML, linguagem de programação JAVA, linguagem de programação PHP, sistema de gestão de bases de dados MYSQL, API *GoogleMaps* e a metodologia do desenvolvimento RUP. De seguida explicaremos de uma forma resumida as opções utilizadas nesta proposta.

4.1 Sistemas multi-agente

As questões que a área médica apresenta são inerentemente complexas. A modelação utilizada em SMA dispõe de ferramentas que permitem atacar a complexidade, nomeadamente através da divisão de uma tarefa em várias mais simples. A autonomia e pró-actividade dos agentes fazem com que não seja necessária intervenção externa para que sejam executadas as tarefas de forma a atingir determinado objectivo; o agente dispõe de mecanismos internos para agir, tendo como ponto de partida a sua percepção do ambiente. As características de sociabilidade dos agentes são adequadas para modelar as propriedades de cooperação, interacção e coordenação que se verificam entre os diversos módulos de um sistema de emergência médica.

Um sistema multi-agente (SMA) é uma solução de software que disponibiliza um ambiente onde vários agentes inter-operam dentro de um contexto específico. Implementou-se o SMA para atender a duas vertentes:

1. O módulo da simulação do SIEMA, em que foi desenvolvida uma agência para simular o acesso de utentes de serviços de saúde às emergências de entidades hospitalares;
2. No protótipo utilizou-se um SMA para actuar como mediador e orientar os utentes para as entidades hospitalares correspondentes às patologias apresentadas. Pela relevância que o SMA tem nesta proposta o tema será abordado com maior profundidade no capítulo 5.

4.2 Protégé

A ontologia da aplicação SIEMA foi desenvolvida utilizando a plataforma *open source* Protégé versão 4.3 [<http://protege.stanford.edu>], uma das mais utilizadas para o desenvolvimento de ontologias. Esta ferramenta permite a criação e manipulação da ontologia de domínio, a sua visualização e exportação para diferentes formatos e também a validação da consistência e extracção de inferências da ontologia.

Os motivos que nos levaram a optar pelo Protégé são:

- Existe uma quantidade bastante satisfatória de *plug-ins*, nomeadamente para a visualização gráfica da ontologia e para facilitar a introdução de informação.
- O editor é personalizável, permitindo que a visualização e a disposição na interface de menus e de painéis sejam alteradas pelo utilizador. Esta característica revelou-se útil porque nem sempre é necessário visualizar tudo o que o Protégé exhibe por defeito;
- A ontologia pode ser criada e visualizada em diversos formatos, como por exemplo sob a forma de árvores, grafos, hierarquias. É possível adaptar a visualização às necessidades do momento, expandindo uma determinada classe, ocultando ou exibindo classes e relações.

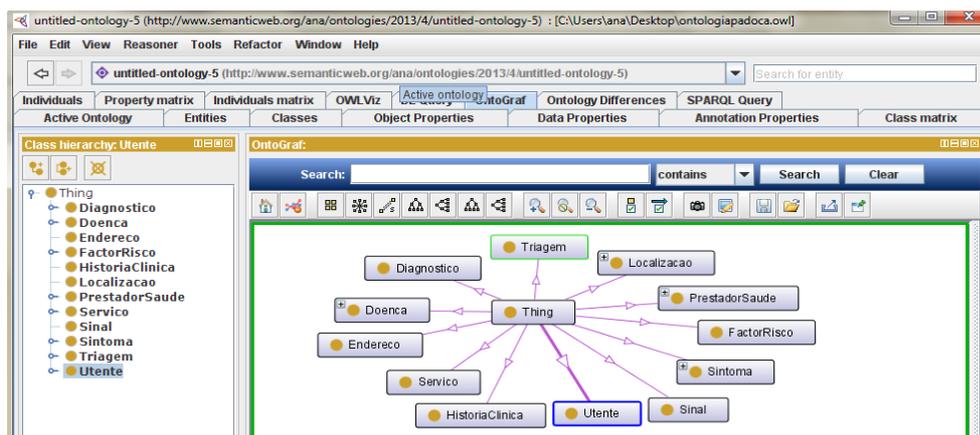


Figura 4.1: Interface do *Protégé*, onde se pode visualizar as classes da ontologia do SIEMA.

Assim, exemplificando com um caso concreto, se for conveniente é possível expandir apenas a classe 'sintoma'. Esta característica é particularmente útil quando a ontologia tem muitas classes ou tem classes com uma grande quantidade de subclasses e não é possível visualizar todas em simultâneo;

- Possui uma interface gráfica simples e intuitiva;
- Existem vários manuais, guias do utilizador e ontologias já criadas que serviram para aprender a utilizar a plataforma para criar a ontologia do SIEMA;

4.3 JENA

JENA (*Semantic Web Framework for JAVA*) é uma ferramenta em JAVA usada para construir aplicações na área da Web Semântica, neutra em relação à linguagem em que a ontologia é desenvolvida. Na nossa proposta este *framework* foi útil devido às seguintes características:

- Possui um motor de inferência baseado em regras para *Resource Description Framework* (RDF) e OWL;
- Disponibiliza o armazenamento de triplos RDF em disco, isto é, sujeito, predicado e objecto;
- Tem uma API para ler, escrever e processar RDF em XML;

Para além das características acima referidas, JENA disponibiliza ainda uma API para ontologias em OWL e RDFS e serviços que permitem que os dados RDF sejam publicados para outras aplicações.

A API JENA foi utilizada em conjunto com a ferramenta de ontologia Protégé, direccionando este último para a modelação da ontologia, como por exemplo para explicitar os conceitos, respectivas relações e verificar a consistência da ontologia. No SIEMA, também desenvolvido na linguagem JAVA, a API JENA, garante o armazenamento da ontologia em disco, mantém a persistência da base de dados da ontologia e permite manipulação da informação relacionada com a ontologia a exibir aos utilizadores do SIEMA.

4.4 OWL

OWL (*Web Ontology Language*) é a linguagem recomendada pelo grupo W3C para a representação formal do conhecimento e possibilidade de inferir novo conhecimento.

As representações em OWL vão para além do que se pode dizer em XML ou RDS. A linguagem XML e XMLS permitem estruturar documentos, representando a sua sintaxe, mas não tem construtores que sejam capazes de dar semântica ao conteúdo dos documentos.

```
<!-- http://www.semanticweb.org/padoca/ontologies/2013/untitled-ontology-5#Doenca -->
<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/padoca/ontologies/2013/untitled-ontology-5#Doenca">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#owl:Thing"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource=
        "http://www.semanticweb.org/padoca/ontologies/2013/untitled-ontology-5#temSintoma"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource=
        "http://www.semanticweb.org/padoca/ontologies/2013/untitled-ontology-5#Sintoma"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

Figura 4.2: Excerto da representação OWL da restrição numa propriedade da ontologia do SIEMA.

RDF é utilizado para construir um modelo de dados dos objectos e das relações entre os mesmos, permitindo que este modelo tenha um conteúdo semântico limitado. Por outro lado, com a linguagem RDFS podemos descrever generalizações e hierarquias para as propriedades e para as classes.

Optámos pela utilização da linguagem OWL porque estende as capacidades da linguagem RDFS e permitiu-nos expressar formas mais complexas de classes e de relações entre classes; por exemplo, disjunções entre classes: um hospital não pode pertencer simultaneamente à classe 'Hospital Público' e 'Hospital Privado'; cardinalidade de relações: uma doença tem que ter pelo menos um sintoma.

Na figura 4.2 podemos ver um excerto do código OWL referente à restrição da relação 'temSintoma' entre a classe 'Doenca' e 'Sintoma', que obriga a que as doenças tenham pelo menos um sintoma associado.

4.5 NetLogo

Para implementar a simulação utilizou-se o ambiente multi-plataforma NetLogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>). O NetLogo é especialmente apropriado para a simulação baseada em agentes na área das ciências sociais [Nikolai & Madey, 2009]. Este ambiente é adequado para modelar sistemas dinâmicos que exibam uma evolução temporal utilizando o paradigma de sistemas multi-agente, permitindo a construção de um modelo relativamente simples que evidencie comportamentos e padrões complexos de interacção entre os vários elementos (agentes). As interacções são influenciadas pelos valores atribuídos aos parâmetros de entrada da simulação, que afectam a evolução do sistema e o estado final do mesmo.

O ambiente utiliza a linguagem de programação NetLogo, pertencente à família das linguagens Logo, como por exemplo StarLogo, já utilizadas desde a década de 60 do século passado na inteligência artificial e outras áreas afins.

As linguagens Logo são utilizadas para modelar sistemas multi-agente, no entanto o NetLogo destaca-se por ser uma linguagem mais robusta, com maior expressividade (suportando listas, variáveis locais, conjuntos específicos de agentes) e com a possibilidade de construir modelos que executam mais rapidamente, com um maior número e maior variedade de agentes.

Para além de ser adequado ao tipo de problema estudado, o ambiente NetLogo tem tutoriais e documentação disponíveis na Internet, uma extensa biblioteca de modelos desenvolvidos e testados por outros programadores e fornece primitivas para as estatísticas mais comuns.

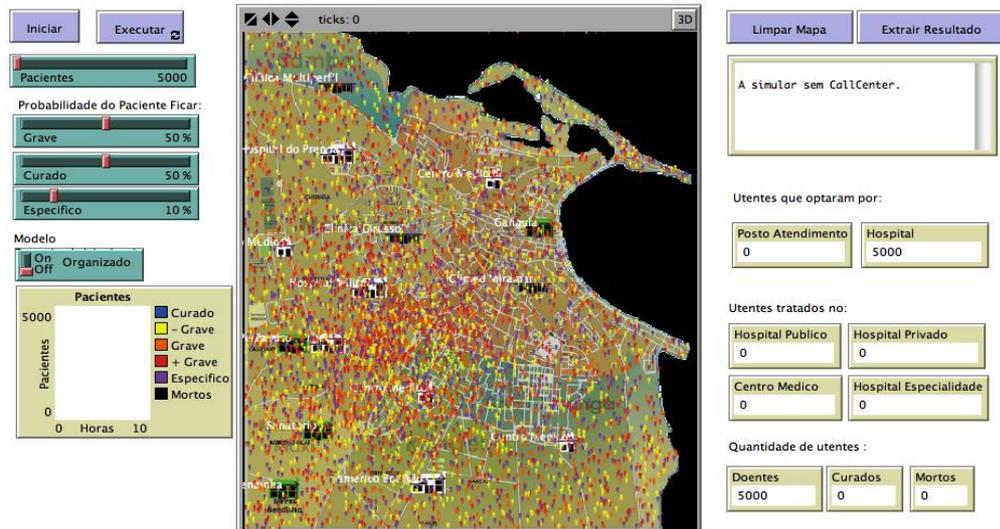


Figura 4.3: Interface da simulação com a ferramenta *NetLogo*.

A sua interface amigável permite a visualização da execução da simulação e a alteração dos valores dos seus parâmetros de forma rápida e simples e esta facilidade de uso, em conjunto com uma ampla difusão, permitem aos cientistas sociais, médicos, decisores políticos ou outros interessados explorarem os modelos sem necessidade de recorrer a um especialista em computação.

Apesar das vantagens que esta ferramenta apresenta no desenvolvimento da componente de simulação do Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas, encontraram-se essencialmente duas desvantagens:

- O editor é demasiado básico para o desenvolvimento de programas extensos;
- O controlo de ficheiros com a exportação de resultados não tem a qualidade desejada, isto é, apesar do NetLogo ter primitivas para abrir e escrever em ficheiros, a sua capacidade para formatar e controlar os dados exportados é limitada.

4.6 UML

Na modelação do protótipo Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas (SIEMA) foi empregue a linguagem de modelação UML (*Unified Modeling Language*) através de ferramentas CASE (*Computer Aided Software Engineering*) disponíveis, para especificar e documentar as várias fases do desenvolvimento do nosso sistema. UML é uma linguagem de modelação amplamente empregue na indústria de software, independente da metodologia de desenvolvimento, e utiliza conceitos das linguagens de programação orientadas a objectos (nomeadamente JAVA) que a tornam adequada para modelar e facilitar a integração com sistemas baseados em agentes, sendo este um factor preponderante para a sua escolha.



Figura 4.4: Um dos diagramas UML (casos de uso) utilizado na modelação do SIEMA.

No SIEMA o uso de UML facilitou a análise dos requisitos e a concepção do protótipo, permitindo vários tipos de abstracção. Esta linguagem é flexível e expressiva, contando com vários diagramas que foram utilizados para descrever o SIEMA e se agrupam em três categorias:

- (1) Representação da estrutura estática da aplicação (diagramas de classes, de objectos e de pacotes);
- (2) Representação dos tipos do comportamento (diagramas de casos de uso e de actividades);
- (3) Representação de diversos aspectos de interacção (diagramas de sequências e de colaboração).

4.7 RUP

Em termos de selecção de uma metodologia de desenvolvimento, não existe uma que pode ser considerada melhor do que as restantes, existe sim, a metodologia mais adequada para cada tipo de projecto de software a desenvolver. Tendo conta este facto, optou-se por utilizar a metodologia *Rational Unified Process* (RUP) na definição do processo para reunir os requisitos, analisar e conceber a aplicação SIEMA. Esta metodologia comporta quatro fases (iniciação, elaboração, construção e transição), é baseada em boas práticas (desenvolvimento iterativo e incremental, baseado na arquitectura do sistema) com o objectivo de aumentar a qualidade da aplicação a desenvolver e melhorar a produtividade do desenvolvimento.

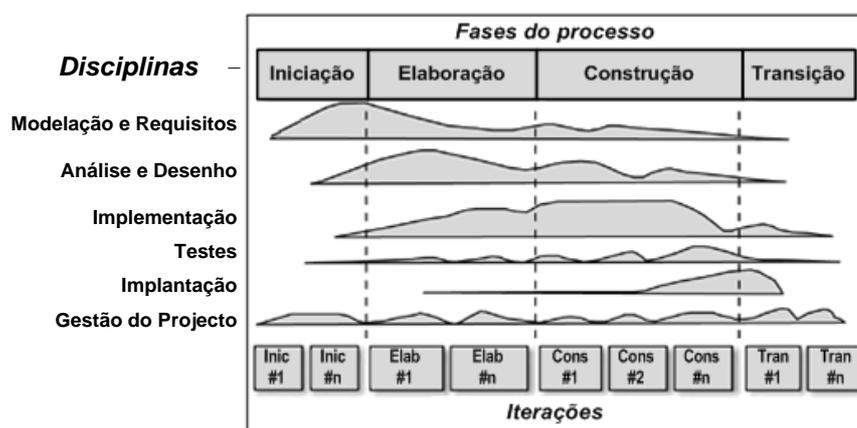


Figura 4.5: Gráfico contendo as várias fases do RUP, adaptado [Eeles, 2002].

RUP é uma metodologia facilmente integrada com a utilização de UML e a implementação das linguagens de programação orientadas a objectos, neste caso JAVA.

4.8 JAVA

Na implementação do protótipo do SIEMA utilizou-se a linguagem de programação JAVA, criada na década de 90 por um grupo de programadores da Sun Microsystems e lançada em 1995. Esta é uma linguagem flexível, utilizada para desenvolver aplicações do tipo *stand alone*, mas cujas potencialidades são mais exploradas em aplicações que executam em

ambientes do tipo cliente-servidor, e muito utilizada para aplicações que executam na web.

A linguagem JAVA foi escolhida neste projecto por apresentar as seguintes características:

- É uma linguagem orientada a objectos, utilizando assim as vantagens da orientação a objectos, como interfaces, mecanismos de herança e reutilização de código;
- Facilidade de codificação, dado apresentar uma curva de aprendizagem mais reduzida que outras linguagens orientadas a objectos como o C++ e implicar a escrita de menos código e com maior qualidade;
- Robustez, nomeadamente não utilizando apontadores, encorajando o tratamento de excepções e fazendo a gestão automática da memória;
- Independência da plataforma onde executa - diferentemente das linguagens convencionais, que são compiladas para código nativo, uma vez o programa codificado em Java é compilado para uma linguagem intermédia denominada JAVA *bytecode*, que é executado por uma máquina virtual JAVA e interpretado para a linguagem máquina de cada plataforma. Este passo intermédio de certa forma encapsula a dependência do programa em relação à plataforma;
- Ampla utilização e disponibilização de um vasto leque de bibliotecas para tratarem da interface com o utilizador, o acesso a bases de dados, problemas relacionados com a concorrência e computação distribuída, entre outros;
- Facilidade de programação de agentes, através de plataformas em java com a plataforma JADE (*Java Agent DEvelopment Framework*), entre outras.
- É muito adequada para a implementação de sistemas que correm na internet, com a execução do lado do cliente de *applets* (programas que correm no *browser* web), tornando as páginas web mais dinâmicas e minimizando a sobrecarga de dados na rede e de processamento do lado do servidor.

Associadas à linguagem de programação Java utilizaram-se também algumas tecnologias tais como:

- (1) *JavaServer Pages*, que permitiu o desenvolvimento rápido de páginas web dinâmicas. A manutenção das mesmas é facilitada, uma vez que é possível modificar o aspecto das páginas sem alterar a forma como o conteúdo das mesmas é gerado;
- (2) *JavaBeans* foi utilizado em conjunto com *JavaServer Pages*, facilitando a reutilização de alguns componentes de software;
- (3) *Enterprise JavaBeans*, a API (*Application Programming Interface*) utilizada para criar de forma modular aplicações servidoras distribuídas, transaccionais e seguras (vide figura 4.6);

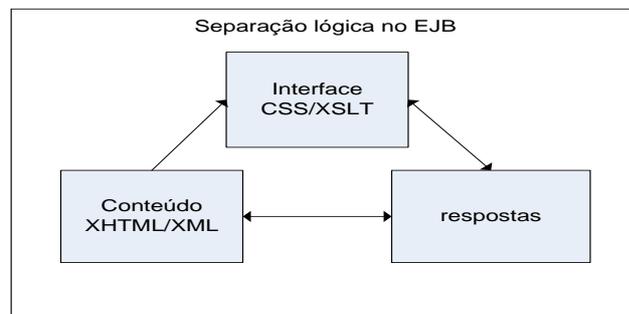


Figura 4.6: Separação lógica no EJB.

- (4) *JavaServer Faces*, usado para a construção de interfaces com o utilizador baseada em componentes.

4.9 PHP

PHP, abreviatura de *Hypertext Preprocessor*, é uma linguagem de programação que foi utilizada no SIEMA para facilitar o desenvolvimento de páginas web dinâmicas. O PHP é ideal para usar na componente servidor por não consumir muitos recursos do sistema, daí possuir uma boa velocidade de processamento e não interferir com o desempenho de outros processos. Esta linguagem fornece mecanismos diversos de segurança, integração com outras linguagens de programação (neste caso concreto com JAVA), interface com os servidores web mais utilizados e a ligação com vários sistemas de gestão de bases de dados.

4.10 MYSQL

O sistema de gestão de bases de dados (SGBD) MYSQL foi escolhido para este projecto por ser *open source* e acima de tudo por possuir as características essenciais que um SGBD profissional requer, isto é, atomicidade (todas as operações associadas à transacção devem executadas com sucesso para que esta seja efectivada), consistência (garantia de correcção da informação), isolamento (cada transacção não pode interferir com outra transacção concorrente) e persistência (resultados de uma transacção são permanentes, mesmo em caso de falha). Adicionalmente, MYSQL tem um elevado desempenho, flexibilidade, disponibilidade, mecanismos de segurança (apenas os utilizadores autorizados acedem aos recursos de bases de dados e suporta os protocolos SSH e SSL para garantir ligações seguras) e de protecção de dados (funções de encriptação e descriptação protegem os dados mais sensíveis).

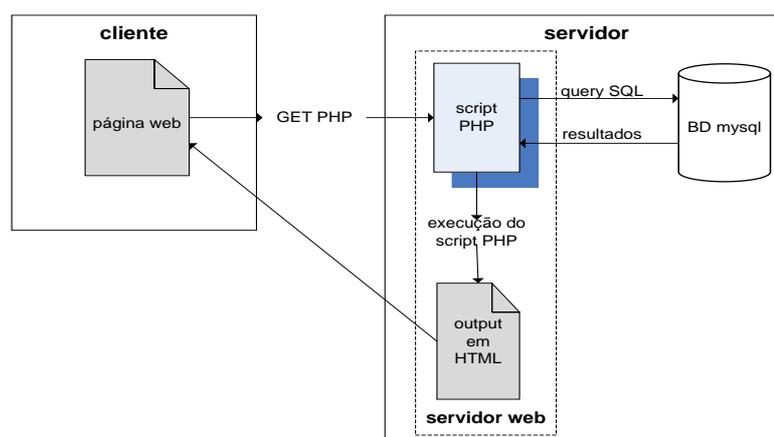


Figura 4.7: Sistema de Gestão de Bases de Dados MYSQL.

O SGBD MYSQL escolhido permite armazenar, gerir a informação e a integração com o interface de utilizador (figura 4.7). O utilizador avançado pode actualizar e consultar a base de dados utilizando SQL. Quando a aplicação comunica com a base de dados no servidor, este estabelece a ligação através do ODBC, sem mais aplicações adicionais. De salientar aspectos como rapidez permitindo uma comunicação actualizada e para tal deve escolher-se hardware e software com um bom desempenho. O uso de *packages*, que permitem a modularização do código e a organização de procedimentos e funções, também contribuem para um bom desempenho,

para além de facilidade de manutenção e reaproveitamento do código. Outro factor que levou à escolha do MySQL é este ter funções predefinidas e específicas que tornam fácil a sua integração com linguagens de programação para a internet, como é caso concreto de PHP que foi usado para o desenvolvimento deste protótipo.

4.11 API Google Maps

Tendo em conta que um dos objectivo deste projecto é disponibilizar as localizações das entidades que prestam os serviços de saúde e dos utentes no momento em que recorrem ao SIEMA, houve necessidade de encontrar uma forma de pesquisar e visualizar os pontos geográficos da cidade de Luanda pretendidos.

Para tal optou-se pela tecnologia *Google Maps Javascript API*. Esta ferramenta fornecida gratuitamente pela empresa Google permitiu integrar os mapas disponibilizados pela *Google Maps* no nosso protótipo, usando Javascript. Desta forma é possível manipular e adicionar conteúdos aos mapas visíveis no SIEMA. (conforme ilustrado na figura 4.8).



Figura 4.8: Google Maps com as etiquetas de alguns Hospitais em Luanda.

Na interface do SIEMA o utilizador, no caso de pretender fazer uma triagem, tem que marcar a sua localização presente no mapa de Luanda disponibilizado pela API da Google. A localização actual do utente é um factor crucial na escolha do hospital para onde o utente será encaminhado, uma vez que o SIEMA tenta encaminhar para o hospital mais próximo possível do utente com disponibilidade e serviço adequado.

5. Agentes e Sistemas Multi-Agente no SIEMA

“Quanto mais quero uma coisa feita, menos a considero como trabalho”.
Richard Bach

No decurso desta tese construiu-se um protótipo denominado SIEMA, que tem resumidamente, do ponto de vista do utilizador, duas vertentes: responder a pedidos de informação de carácter genérico sobre as entidades de saúde angolanas e, caso seja solicitado, estabelecer um diagnóstico e encaminhamento para uma entidade hospitalar dos utentes que necessitem de cuidados de saúde urgentes. As tarefas nucleares do protótipo são desempenhadas recorrendo à tecnologia de agentes. Este capítulo aborda, por um lado, os aspectos gerais do conceito de agente e do paradigma de computação baseada em sistemas multi-agente que se consideram relevantes para o trabalho desenvolvido e, por outro lado, as características e implementação dos agentes construídos para o SIEMA, a ontologia que explicita o vocabulário utilizado pelos referidos agentes e a arquitectura do sistema multi-agente desenvolvido.

5.1 Sistema multi-agente

Os sistemas multi-agente (SMA) surgiram na década de 80 do século passado, mas apenas em meados dos anos 90 ganharam uma maior notoriedade. Os SMA estão na confluência, ou são influenciados, por vários campos do conhecimento como ciências sociais, filosofia, economia, teoria

dos jogos, lógica, ecologia [Wooldridge, 2002]. Actualmente, os SMA constituem um dos tópicos mais activos no campo da Inteligência Artificial Distribuída, uma área que desde a segunda metade da década de 70 se ocupa do estudo e concretização da coordenação de comportamentos e de conhecimento entre agentes distribuídos por ambientes heterogéneos.

5.1.1 Algumas definições de SMA

Não existe uma definição consensual para o conceito sistema multi-agente. Vários autores apresentam a sua visão, enfatizando determinados aspectos que lhes são mais pertinentes. Como exemplo destas diferentes noções, enumeram-se as definições de alguns autores de renome na área:

- Para Shoham, os sistemas multi-agente são aqueles que incluem múltiplas entidades autónomas com informações divergentes, interesses divergentes, ou ambos [Shoham, 2009].
- Sistemas multi-agente é uma área da inteligência artificial distribuída que dá destaque ao comportamento dos agentes em relação uns com os outros num contexto de autonomia e complexidade resultante das interacções entre esses agentes [Hoen *et al.*, 2006].
- Segundo Panait, um SMA é um ambiente onde existe mais do que um agente, que interagem entre si e com restrições nesse ambiente de tal forma que os agentes não podem conhecer tudo acerca do mundo que outros agentes conhecem, incluindo os estados internos desses agentes [Panait, 2005].
- Em [Wooldridge, 2002] um sistema multi-agente consiste num número de agentes que interagem uns com os outros. No caso mais genérico, os agentes actuam em nome de utilizadores com diferentes objectivos e motivações. Para interagir com sucesso é necessário que tenham características de cooperação, coordenação e negociação uns com os outros, à semelhança do que acontece com as pessoas.

- Um sistema multi-agente pode ser definido como uma rede com ligações fracas de agentes autónomos que podem ser heterogéneos por natureza e que trabalham em conjunto para resolver problemas que estão para além das capacidades ou conhecimentos individuais de cada agente [Jennings, 1998].

Considerando a adequação a esta proposta, define-se um sistema multi-agente como uma solução de software constituída por vários componentes denominados agentes que possuem um comportamento autónomo e um conjunto de regras que lhes permitem interagir entre si e com a plataforma onde estão integrados através da troca de mensagens, mimetizando vários tipos de comportamento social (cooperação, coordenação, competição, negociação e outros). O SMA permite lidar com a complexidade dos problemas reais através da especialização dos agentes que o compõem e das interacções entre os mesmos e com o ambiente onde estão inseridos.

5.1.2 Características de SMA

A utilização dos SMA tem vindo a expandir-se graças a inúmeras vantagens que este tipo de abordagem oferece, sobretudo no que se refere aos seguintes aspectos:

- escalabilidade e flexibilidade;
- robustez e fiabilidade;
- eficiência computacional;
- desenvolvimento e manutenção;
- reutilização.

Tipicamente, os sistemas multi-agente são adequados para resolver problemas demasiado complexos para serem resolvidos por um único agente, com uma vertente distribuída (por exemplo, de recursos e de informação), descentralizada (como controlo e reorganização dinâmicos) ou envolvendo vários tipos de conhecimento, onde se tire partido de entidades e interacções heterogéneas, comportamento individual flexível e não-linear.

As regras que os agentes seguem não necessitam de ser complexas (aliás, em consequência da modularização do problema a atacar, cada agente actua com um grupo de regras simples e limitado por um conhecimento local, ou parcial, do sistema), a complexidade emerge da interacção entre os agentes, que são interdependentes, isto é, influenciam e são influenciados por outros e se adaptam às alterações que ocorrem no ambiente.

5.1.3 Metodologias e Implementações

Para desenvolver um sistema multi-agente, regra geral, expandem-se metodologias já existentes, fundamentalmente a orientada a objectos e a da engenharia do conhecimento. A utilização de uma ou de outra tem mais a ver com o objectivo do sistema em causa do que com a facilidade que eventualmente uma determinada metodologia possa oferecer. Ou seja, dando ênfase à comunicação entre os agentes utiliza-se a metodologia orientada a objectos; privilegiando as características cognitivas dos agentes utiliza-se a engenharia do conhecimento.

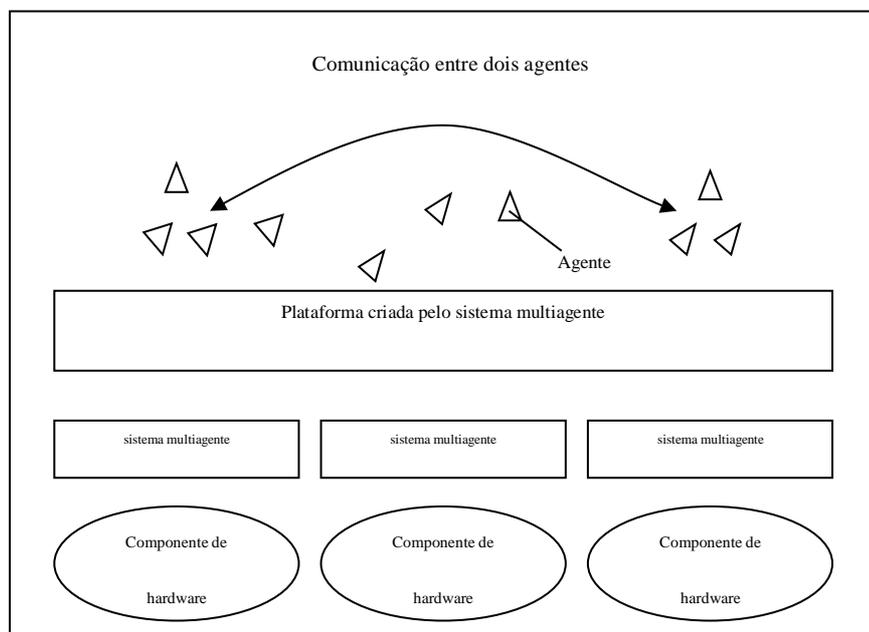


Figura 5.1: Arquitectura multi-agente.

A figura 5.1 ilustra o funcionamento dos agentes numa plataforma multi-agente.

Para facilitar a criação de SMA existem várias implementações com as quais se podem desenvolver aplicações baseadas em agentes, estando fora do âmbito desta proposta abordar as particularidades de cada uma destas realizações, no entanto no tópico sobre plataformas dá-se uma breve descrição das mais representativas.

A comunidade científica e a indústria empenhada na utilização de sistemas multi-agente contribuíram para a criação na década de 90 de normas para a tecnologia de agentes de forma a promover a interoperabilidade entre as várias implementações e arquitecturas de plataformas de agentes existentes.

As normas mais difundidas e adoptadas para o desenvolvimento dos sistemas baseados em agentes são as propostas pela FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*), mas também se pode referir as normas MASIF (*Mobile Agent System Interoperability Facility*) e OMG (*Object Management Group*).

5.2 Agentes

À semelhança do que acontece para os SMA, também não existe um consenso acerca da definição de agente. Os diversos autores ligados à investigação e desenvolvimento de agentes definem agente tendo em conta a sua perspectiva e área de aplicação. Essas definições podem variar entre um amplo grau de detalhe. Abaixo podem verificar-se algumas definições de agente, desde já observando que, apesar dos diferentes destaques, a autonomia surge como uma característica transversal.

- Um agente é tudo o que pode ser visto como percebendo o seu ambiente através de sensores e actuando sobre esse ambiente através de efectores [Russell and Norvig, 2010].
- Um agente é um sistema computacional capaz de acção autónoma num ambiente, por forma a atingir os objectivos que lhe são delegados [Wooldridge, 2009].

- Agente é um software pró-activo, personalizado e adaptado. Um software que pode agir em nome das pessoas, tomar iniciativa, dar sugestões, etc. [Maes,1997].
- Um agente autónomo é um sistema que está situado num ambiente e é parte desse ambiente, que percepção e actua sobre o mesmo ao longo do tempo, perseguindo a sua própria agenda e desta forma afectando o que perceberá no futuro [Franklin and Graesser,1996].
- Agentes autónomos são sistemas computacionais que estão num ambiente dinâmico complexo, sentem e actuam de forma autónoma neste ambiente e assim concretizam um conjunto de objectivos ou tarefas para os quais foram desenhados [Maes, 1995].
- Agentes inteligentes desempenham continuamente três acções: percepção das condições dinâmicas do ambiente; acção por forma a afectar as condições do ambiente e raciocínio para interpretar percepções, resolver problemas, inferir e determinar as acções [Hayes-Roth, 1995].
- Agente é um sistema computacional de hardware, ou mais frequentemente, de software que tem propriedades de autonomia, habilidade social, reactividade e pro-actividade [Wooldridge & Jennings, 1995].
- Agentes de software são programas que dialogam, negociam e coordenam transferências de informação [Coen, 1994].

Na proposta do SIEMA, um agente é uma abstracção de comportamentos. É também a unidade de processamento mais elementar de uma plataforma de agentes/ambiente. Neste aspecto pode comparar-se aos objectos na programação orientada por objectos: onde os objectos têm métodos, os agentes têm comportamentos, que são autónomos e com o propósito de atingir objectivos. Por conseguinte, a um agente são inculcadas responsabilidades, ou seja, tarefas que este cumpre por meio dos seus comportamentos. Por aqui se vê que os comportamentos de um agente são definidos também a pensar nas suas responsabilidades.

5.2.1 Propriedades dos agentes

Na tecnologia de agentes existem duas abordagens relativamente às características dos agentes: privilegiar a componente de inteligência ou a de mobilidade. Estas componentes são difíceis de conciliar, uma vez que o raciocínio penaliza o desempenho, que é fundamental para suportar a mobilidade dos agentes.

Os agentes construídos na nossa proposta observam as seguintes propriedades de classe fraca, como definidas em [Wooldridge & Jennings, 1995 b]:

Classe	Propriedades	Descrição
Fraca	Autonomia	capaz de se executar de um modo independente e sem qualquer intervenção por parte do utilizador.
	Comunicação	capaz de comunicar com outros agentes, processos e/ou com o utilizador.
	Intuição	capaz de perceber e responder a mudanças ocorridas no ambiente.
	Mobilidade	capaz de se mover dentro de uma plataforma de um sítio para outro durante a sua execução.
	Benevolência	os agentes não têm objectivos contraditórios e qualquer agente procura executar o que lhe é solicitado.

Tabela 5.1: Propriedades fracas dos agentes.

Adicionalmente, os agentes também possuem as propriedades de classe forte como definidas em [Wooldridge & Jennings 1995 b], isto é, são agentes inteligentes (ou seja, com forte componente de inteligência artificial):

Classe	Propriedades	Descrição
Forte	Racionalidade	capaz de agir de forma a alcançar os seus objectivos de acordo com os critérios de avaliação das suas acções e justificando as suas decisões.
	Adaptação	capaz de se adaptar (aprender) às mudanças (flexibilidade) que ocorrem no ambiente onde está inserido.
	Colaboração	capacidade de empenho (não obediência cega a ordens), ou seja, o agente não deve aceitar (e executar) instruções sem considerações, mas deve levar em conta que o utilizador comete erros, omite informações importantes e/ou fornece informações ambíguas.

Tabela 5.2: Propriedades fortes dos agentes.

Tal como referido para os SMA, também os agentes são uma abstracção e como tal servem para lidar com a complexidade de um determinado sistema. A complexidade do sistema proposto foi reduzida através dos comportamentos dos agentes e das propriedades fracas e fortes que estes possuem, mencionadas nas tabelas 5.1 e 5.2.

Os agentes são mais eficazes quando trabalham em conjunto, extraindo benefícios evidentes através da comunicação e cooperação entre si, daí a necessidade de utilização de uma agência, como no caso em estudo nesta proposta, de um protótipo que auxilia o utente, mediante os sintomas que este indica, a encontrar uma entidade hospitalar adequada para o tratamento da patologia associada.

5.2.2 Agentes utilizados no SIEMA

Pretende-se com esta proposta criar um sistema flexível mas robusto, com interface simples e intuitivo, que responda à necessidade de agilizar e tornar mais racional o acesso aos serviços de urgência, que facilite o acesso à informação por parte dos utentes e que permita às entidades de saúde um maior grau de conhecimento sobre os utentes que lhes são encaminhados e uma utilização mais equilibrada dos seus recursos. O SIEMA incentiva a coordenação e colaboração entre as entidades prestadoras de cuidados de saúde, disponibiliza uma funcionalidade de pré-triagem aos utentes e encaminhamento dos mesmos segundo o diagnóstico e a disponibilidade hospitalar.

A componente baseada em sistemas multi-agente do protótipo SIEMA é responsável pelas tarefas nucleares do mesmo: fazer o diagnóstico do utente; identificar os serviços de saúde necessários para tratar o utente; estabelecer qual a entidade de saúde adequada e com melhor disponibilidade para onde é encaminhado o utente e também apoiar os utilizadores do SIEMA no uso da interface.

Criou-se para o SIEMA uma diversidade de agentes considerada a suficiente, atribuindo a estes responsabilidades específicas. Para

obviar possíveis problemas de desempenho no que diz respeito aos recursos físicos da plataforma onde se executam, modelou-se o sistema de forma a criar agentes simples e fáceis de manobrar, em vez de ter optado por um agente único extremamente complexo e pesado. Caso tivesse utilizado esta última opção, não se beneficiaria das propriedades de colaboração e comunicação, que são vantajosas no paradigma de agentes.

Existem várias formas de classificação dos agentes. Pode referir-se a classificação de [Russel and Norvig, 2010] que tem em conta a arquitectura interna dos agentes, a de [Genesereth and Nilsson, 1987], dando destaque às capacidades e recursos dos agentes, e várias outras. A nossa abordagem privilegiou a tipologia de [Nwana, 1996] que define quatro tipos de agentes consoante a predominância dos atributos primários de cooperação, aprendizagem e autonomia:

- Agentes colaborativos;
- Agentes colaborativos com aprendizagem;
- Agentes inteligentes;
- Agentes de interface.

É claro que as fronteiras impostas pela classificação não são limitativas, apenas indicam que um dado agente tem maior ênfase em determinadas características. Por exemplo, um agente com as características de cooperação e aprendizagem (agente colaborativo com aprendizagem) pode perfeitamente ter autonomia.

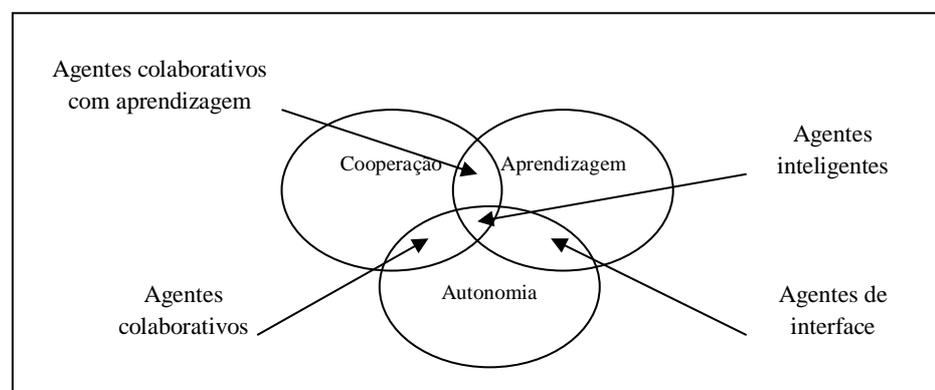


Figura 5.2: Tipologia de agentes [Nwana, 1996].

Na figura 5.2 são evidentes as características principais de cada um dos tipos de agente e a tipologia a que os agentes pertencem, de acordo com as referidas características.

Em [Nwana, 1996], o autor também explicita uma tipologia mais exhaustiva que contempla, para além das características primárias dos agentes, as tarefas que os mesmos desempenham, dando assim origem a sete categorias:

- agentes colaborativos;
- agentes de interface;
- agentes móveis;
- agentes de informação/internet;
- agentes reactivos de software;
- agentes híbridos;
- agentes inteligentes.

Classificando os agentes deste trabalho segundo esta tipologia, consideramos:

- **Agente de software:** este tipo de agente tem por missão efectuar tarefas diversas dentro da aplicação sem que seja evidente ou aparente a sua utilização. O agente de software pode ser lançado por outro agente para desempenhar uma tarefa isolada. Na proposta do SIEMA temos o caso do "agente encaminhador", que é criado pelo "agente coordenador".
- **Agente de interface:** Os pontos fortes deste agente são a aprendizagem e a autonomia. O agente de interface é responsável pela gestão da interface de utilizador, auxiliando os utilizadores nas suas interacções com a aplicação, criando agentes específicos a quem delega a responsabilidade da tarefa a cumprir. Como agente de interface temos o "agente utente" e o "agente prestador".
- **Agente de informação:** este é um agente inteligente cuja especialidade é o tratamento de informação, recolhida em

diversas fontes, dando ênfase à forma como a informação deve ser trabalhada e qual a sua relevância. Apesar de ser difícil classificar por também possuir características de outros agentes, consideramos o "agente relatório" um agente de informação, tendo em conta a natureza das suas tarefas, apesar de também poder ser considerado um agente de software pela forma como está implementado.

- **Agente colaborativo:** as características mais fortes deste agente são a colaboração e a autonomia. Dada a natureza das tarefas que os agentes têm que realizar, todos os agentes implementados na nossa proposta têm algum grau de colaboração, existindo assim vários níveis de colaboração. O cumprimento dos objectivos de cada agente depende do cumprimento das responsabilidades de outros agentes, trabalhando todos para um objectivo comum. No entanto, os agentes em que a característica fundamental é a colaboração são o "agente coordenador" e o "agente diagnóstico".

De notar que temos nesta proposta agentes que estão incluídos simultaneamente em mais do que uma tipologia, consoante as responsabilidades que possuem.

5.2.3 Arquitectura de agentes

Para conseguir implementar um agente, atribuindo-lhe as características que o tornem mais adequado para desempenhar determinadas tarefas, tornou-se imprescindível a implementação de uma arquitectura de agentes.

Segundo Maes, uma arquitectura de agentes é uma metodologia particular para construir agentes. Especifica como é que o agente pode ser decomposto na construção de um conjunto de módulos de componentes e como é que estes módulos devem interagir. O conjunto formado pelos módulos e as suas interacções tem que fornecer uma resposta à questão de como os dados do sensor e o estado interno actual do agente determina as suas acções e o estado

interno futuro do agente. Uma arquitectura reúne técnicas e algoritmos que suportam esta metodologia [Maes, 1991].

Existem vários tipos de arquitecturas de agentes, e ao escolher uma deve ter-se em conta o fim para o qual queremos usar o agente, pois a arquitectura tem que ser um facilitador no processo de construção do agente. Wooldridge e Jennings identificam três categorias principais de arquitecturas de agentes [Wooldridge & Jennings, 1995 b]:

- (a) **Arquitectura reactiva:** não inclui nenhum modelo central simbólico do ambiente nem raciocínio simbólico complexo. Os conceitos base que apoiam esta arquitectura são os de que a inteligência é uma propriedade que emerge da interacção do agente com o ambiente e que o comportamento inteligente não necessita de raciocínio abstracto nem representações explícitas [Oliveira, 2003].
- (b) **Arquitectura deliberativa:** contém um modelo simbólico do mundo explicitamente representado, onde as decisões dos agentes são tomadas através de raciocínio lógico baseado na manipulação simbólica. Este tipo de arquitectura levanta duas questões importantes: a primeira é como criar uma descrição simbólica do mundo adequada e precisa e manter essa descrição actualizada, a segunda é como os agentes podem raciocinar de forma atempada utilizando a representação criada do mundo real (vide figura 5.3).

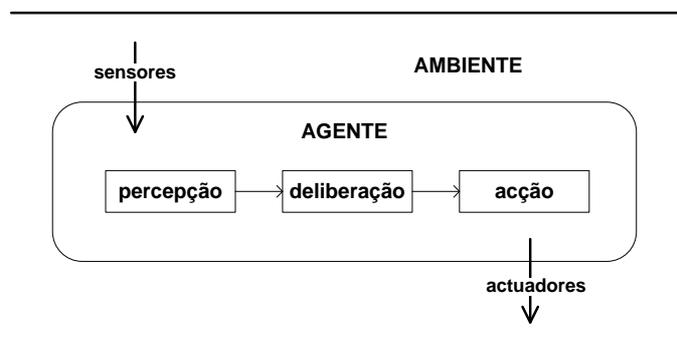


Figura 5.3: Arquitectura de um agente deliberativo.

As arquitecturas deliberativas mais usuais são:

- Agentes de planeamento - decidir um conjunto de acções encadeadas de forma a atingir um determinado objectivo. Como exemplo temos STRIPS [Fikes & Nilsson, 1971], que foi o primeiro sistema de planeamento implementado com agentes e utilizando planeamento linear; o planeamento hierárquico e não-linear em [Sacerdoti, 1975] e o sistema AUTODRIVE [Wood, 1993], utilizado em simulação de tráfego.
- GRATE - implementação de uma arquitectura por camadas, sendo que uma é um sistema do domínio e outra é uma camada de controlo e cooperação [Jennings, 1993].
- BDI - abreviatura em inglês de *Believes* (crenças), *Desires* (desejos), *Intentions* (intenções), é uma arquitectura deliberativa que assenta na ideia de atribuir a um agente estados mentais baseados num conjunto de crenças, desejos e intenções que vão condicionar o raciocínio e as acções do agente.
 - (a) crença é a informação que o agente acredita ser verdadeira acerca do ambiente ou dele próprio num determinado momento;
 - (b) desejos são o que o agente pretende alcançar, apesar do agente poder não saber como os concretizar;
 - (c) intenções resultam de deliberações efectuadas pelo agente sobre o conjunto de acções a tomar para atingir os seus objectivos.

Na figura 5.4 apresenta-se um pseudo-código dos passos que o agente segue para executar uma acção na arquitectura BDI.

```

enquanto verdadeiro fazer {
  informação = perceberAmbiente( );
  C = actualizarCrenças (informação);
  D = gerarDesejos (C, I);
  I = gerarIntenções (C, D, I);
  plano = seleccionarPlano (C, I);
  executarPlano = (plano);
}

```

Figura 5.4: Pseudo-código de um algoritmo genérico para um agente BDI adaptado de [Wooldridge, 2000].

- (c) **Arquitectura híbrida** - este tipo de arquitectura tenta conciliar os aspectos mais vantajosos de cada um dos tipos de arquitecturas mencionadas anteriormente, criando desta forma agentes que têm ambas as componentes, deliberativa e reactiva. Nas arquitecturas híbridas geralmente a componente reactiva tem precedência sobre a deliberativa, permitindo que o agente dê resposta a determinados eventos que ocorram no seu ambiente de uma forma mais rápida do que aquela que daria se tivesse que raciocinar e decidir.

5.2.4 Arquitectura de Agente do SIEMA

Tendo em conta as categorias de arquitecturas de agentes acima descritas, a nossa proposta utiliza a abordagem PRS (*Procedural Reasoning System*) que é uma arquitectura de agentes deliberativa referida em [Georgeff, 1987].

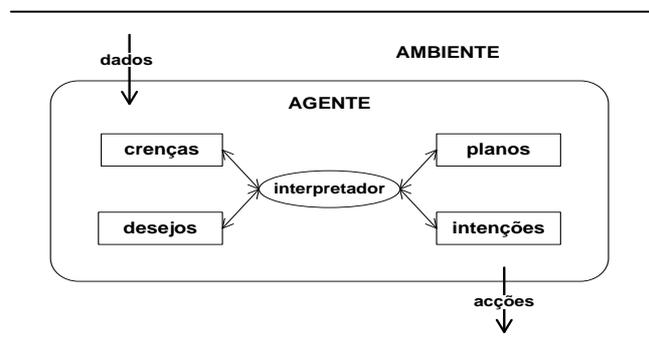


Figura 5.5: Arquitectura PRS [Wooldridge, 2009].

Sendo o PRS uma implementação da arquitectura BDI, acaba por herdar as características fundamentais desta arquitectura, isto é, os agentes possuem crenças, desejos e intenções, e, adicionalmente, um

conceito muito importante que é uma biblioteca com planos pré-definidos.

Como referido em [Wooldridge, 2009], cada plano pré-definido na arquitectura PRS integra os seguintes componentes:

- Objectivo - é a pós-condição do plano;
- Contexto - a pré-condição do plano;
- Corpo - as acções a concretizar.

O objectivo e contexto dos planos PRS são semelhantes aos de outras arquitecturas, mas o corpo do plano PRS permite uma maior flexibilidade, uma vez que para além de indicar a sequência de acções a concretizar também pode incluir objectivos. Neste caso, ao encontrar um objectivo no corpo do plano, só se dá continuidade à execução do plano quando o objectivo tiver sido concretizado.

O agente inicializa-se com um conjunto de crenças e de planos. O objectivo a ser alcançado é colocado numa “pilha de intenções”, onde se colocam todos os objectivos que ainda não foram concretizados. O agente procura na sua biblioteca de planos quais os que têm como pós-condição o objectivo que está no topo da pilha de intenções. Desse conjunto, os que satisfaçam as pré-condições (isto é, as crenças do agente) tornam-se como possíveis planos a executar. O agente escolhe um entre os planos candidatos tendo em conta a sua utilidade.

5.3 Plataforma de agentes

Uma plataforma de agentes é um ambiente de software onde os agentes executam e que fornece apoio à gestão da execução, ao acesso aos recursos do sistema, garante a integridade e protecção dos agentes, serviços de migração, localização, nomeação e comunicação.

O interesse crescente na utilização de sistemas baseados em agentes tem conduzido ao aumento do número de plataformas disponibilizadas para

facilitar o desenvolvimento de sistemas multi-agente. Geralmente este tipo de *framework* inclui:

- Um ambiente de execução distribuído onde os agentes são executados como *threads* e operam inseridos dentro de repositórios de agentes (*containers*), sendo que o mesmo ambiente tem que estar activo para que qualquer agente possa ser criado;
- Um ambiente de agentes que segue as normas da FIPA, nomeadamente utilizando páginas brancas tipo AMS (*Agent Management System*, que fornece o serviço de nomes, ou seja, garante que o nome e o endereço de cada agente é único na plataforma, e representa a autoridade dentro da mesma) e páginas amarelas, que fornece um serviço tipo DF (*Directory Facilitator*) para agentes, isto é, indica para os agentes registados quais os serviços que estes disponibilizam.
- Uma biblioteca de classes a que se tem acesso para construir os agentes e Uma colecção de ferramentas gráficas que permitem uma administração e monitorização facilitada dos agentes.

5.3.1 Arquitectura abstracta da FIPA

A FIPA propõe uma arquitectura abstracta que pode ser concretizada de diferentes formas. A concretização pode ter mais elementos do que a abstracção, no entanto deve obedecer aos requisitos mínimos da arquitectura proposta pela FIPA. Neste contexto, a arquitectura da FIPA dá ênfase aos seguintes aspectos:

- Disponibilização de um modelo e localização de serviços;
- Interoperabilidade de transporte de mensagens;
- Suporte a diferentes representações de linguagens de comunicação de agentes (ACL);
- Suporte a várias representações de directórios de serviços.

5.3.2 Plataformas que obedecem às normas da FIPA

De entre as plataformas mais usuais que satisfazem as normas da FIPA, podemos destacar:

- ADK (*Agent Development Kit*) - plataforma de agentes comercial desenvolvida em Java que dá ênfase a aspectos como a mobilidade e a segurança.
- AAP (*April Agent Platform*) - é uma solução que consome poucos recursos, desenvolvida na linguagem April (*Agent Process Interaction Language*).
- Comtec *Agent Platform* - é uma plataforma livre que, entre outros, implementa o serviço de ontologia e integração agente/software da FIPA.
- FIPA-OS - é uma das primeiras soluções *open source* implementada em JAVA que obedece às normas da FIPA. A estrutura interna do agente utiliza uma abordagem baseada em tarefas.
- Grasshopper - uma plataforma de agentes implementada em Java, especialmente direccionada para dispositivos móveis e mobilidade. Para além das normas da FIPA, também obedece às OMG MASIF.
- JADE - é uma das soluções mais utilizadas, quer para desenvolvimento de aplicações comerciais, quer na área da investigação. O JADE é uma plataforma não-proprietária estável e eficiente, desenvolvida em JAVA.
- ZEUS - ferramenta *open source*, desenvolvida em JAVA para construir aplicações de múltiplos agentes cooperativos. Para além de fornecer mecanismos adequados para agentes genéricos, dispõe de opções avançadas que dão suporte ao planeamento e escalonamento das acções dos agentes.

Como exemplo de uma plataforma de agentes que não obedece às normas FIPA temos JACK, uma plataforma comercial implementada em JAVA, especialmente orientada para o desenvolvimento de agentes com arquitectura do tipo BDI.

Apesar de existirem várias plataformas para a construção e execução de agentes, das quais alguns exemplos foram dados, optámos por criar os nossos agentes na linguagem de programação Java, tendo em conta os conceitos da plataforma JADE e as normas de arquitectura abstracta da FIPA (figura 5.6).

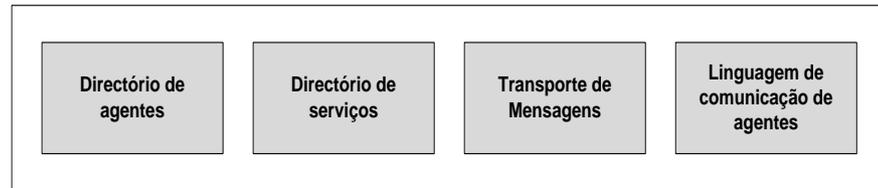


Figura 5.6: Componentes da arquitectura abstracta da FIPA.

5.3.3 Agentes e paradigma orientado a objectos

Algumas características do paradigma orientado a objectos, tais como a troca de mensagens para comunicação, os mecanismos como a herança e agregação para definir a sua arquitectura, a distribuição e o *multi-threading*, a invocação remota de métodos e a notificação por eventos revelam algumas semelhanças ao paradigma orientado a agentes. Assim, a linguagem de programação orientada a objectos JAVA é apropriada para a programação de agentes, embora, de um modo geral, as linguagens de programação lógica, como Prolog, ou programação funcional, como Lisp, sejam as que permitem mais facilmente a concretização da componente de raciocínio de agentes do tipo BDI.

Apesar de existirem pontos de vista diferentes em relação à implementação de agentes, nesta proposta os agentes são extensões dos objectos. Os agentes subclasse criados herdam o conhecimento, planos, objectivos, mecanismos de raciocínio e métodos dos agentes super-classe. Como a herança se faz ao nível das classes, um agente subclasse pode ser inicializado com os estados mentais do agente super-classe, mas o conhecimento, planos e objectivos gerados pela instância do agente super-classe podem não ser herdados quando se cria uma instância de um agente subclasse (objecto), que por sua vez tem um mecanismo de raciocínio próprio.

Quando é instanciado um determinado agente subclasse, é gerado um identificador para esse agente objecto, implementando-se assim um mecanismo semelhante ao AMS que fornece o serviço de nomes, ou seja, garante que o nome de cada agente é único, permitindo assim que os agentes objectos se façam conhecer de forma inequívoca, registando-se num directório e publicitando os seus serviços.

Uma vez que esta proposta tem diversos tipos de agentes e agentes-classe que podem ter mais do que um agente super-classe, a hierarquia de herança tem a estrutura de um grafo acíclico directo, conduzindo inevitavelmente a conflitos de herança relacionados com identificadores repetidos (quando as super-classes de uma determinada classe têm identificadores iguais), herança repetida (quando uma classe herda métodos de duas super-classes que partilham a mesma classe pai) e precedência (quando uma classe herda métodos de duas super-classes que partilham a mesma classe pai e um método da classe pai é redefinido por uma das super-classes).

Para resolver os conflitos citados no caso dos identificadores, a invocação é feita por referência, isto é, deve indicar explicitamente o nome da classe pai que está a ser utilizada e o método. Para evitar a herança repetida, mantém-se apenas uma cópia da classe pai e para a questão da precedência assume-se que os métodos redefinidos têm precedência sobre os originais.

5.4 Comunicação entre agentes no SIEMA

Os agentes comunicam entre si através da troca de mensagens escritas numa linguagem de comunicação de agentes. Nesta proposta optou-se por utilizar uma linguagem de comunicação própria em vez de linguagens padrão como KQML ou FIPA-ACL, dado não existir necessidade de garantir a interoperacionalidade, uma vez que os nossos agentes não comunicam com plataformas de agentes externas à aplicação, conseguindo-se desta forma um maior desempenho no SIEMA.

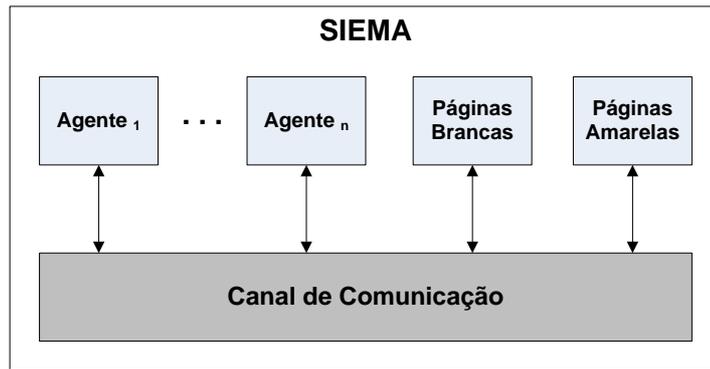


Figura 5.7: Comunicação entre agentes no SIEMA.

Quando um agente é criado, solicita explicitamente o seu registo no serviço de páginas brancas, onde lhe são atribuídos um identificador único e uma localização. Seguidamente, o agente está em condições de, registando-se no serviço de páginas amarelas, anunciar as suas competências (vide figura 5.8).

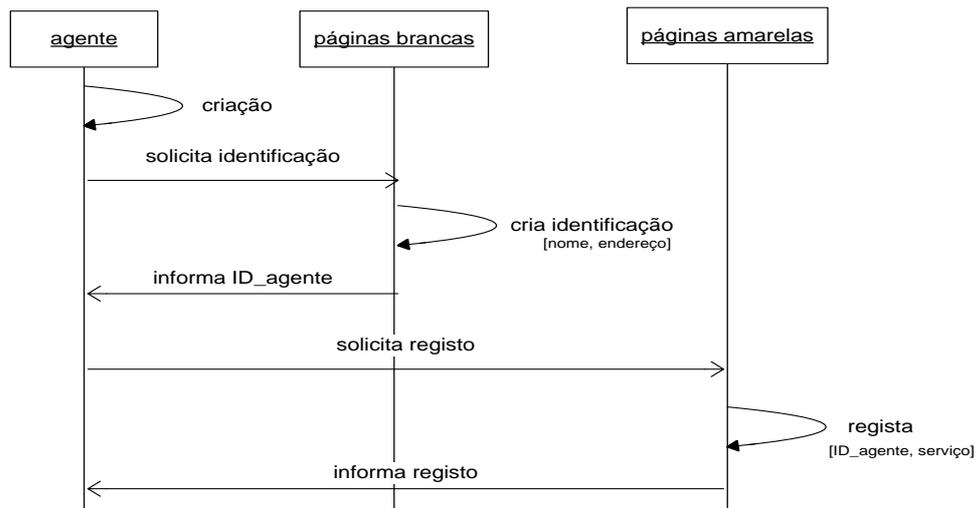


Figura 5.8: Diagrama de sequência de registo de agente nas páginas brancas e amarelas.

Os agentes, fazendo o pedido ao agente que disponibiliza o serviço de páginas amarelas, conseguem saber quais os agentes que executam determinadas tarefas. Para que possa haver interacção entre os agentes, é indispensável que os mesmos estejam registados, caso contrário os agentes presentes no SIEMA não terão forma de saber da sua existência nem de solicitar os seus serviços. Os agentes são responsáveis por, quando alteram os serviços que prestam ou quando saem do sistema, actualizar as páginas brancas e amarelas com essa informação.

A título de exemplo, se um determinado agente (solicitador) pretender que uma tarefa seja realizada por outro agente, contacta um serviço de páginas amarelas (onde constam os agentes registados e as tarefas que estes executam) que lhe indica quais os agentes que podem executar essa tarefa. Então, o agente que solicitou escolhe um de entre os agentes indicados e envia-lhe um pedido de execução da tarefa. O agente destinatário aceita ou recusa o pedido e caso o aceite, fica obrigado a realizar a tarefa conforme acordado.

A figura 5.9 concretiza as mensagens trocadas entre agente_diagnóstico e agente_encaminhamento, em que o primeiro agente pretende saber junto do segundo agente se um determinado serviço, neste caso o serviço de neurologia, está disponível na unidade de saúde em questão (Hospital Pediátrico).

Mensagem com o pedido do agente diagnóstico

```
request
  :sender agente_diagnostico
  :receiver agente_encaminhamento
  :content
    (inform-if
      :sender agente_encaminhamento
      :receiver agente_diagnostico
      :content "(hospital_pediatico servico neurologia)")
  :reply-with query-servico)
```

Mensagem com a resposta do agente encaminhamento

```
(inform
  :sender agente_encaminhamento
  :receiver agente_diagnostico
  :content "(not (hospital_pediatico servico neurologia))"
  :in-reply-to query-servico)
```

Figura 5.9: Troca de mensagens entre agente diagnóstico e agente encaminhamento.

5.5 Tarefas dos agentes implementados no SIEMA

Os agentes do protótipo proposto são modelados fazendo uso das características de autonomia, heterogeneidade, reactividade, pro-actividade e orientação a objectivos desses mesmos agentes. Os agentes desenvolvidos são: agente utente; agente prestador; agente operador; agente coordenador; agente diagnóstico; agente encaminhamento; agente relatório.

Com mais detalhe, podem observar-se os papéis e as responsabilidades de cada um destes agentes:

(a) Agente utente

O agente utente é um agente do tipo interface que representa os utentes que solicitam os serviços de saúde. O agente utente tem por missão auxiliar nos pedidos de informação, criação de registos, actualizações de dados e pedidos de diagnósticos feitos pelos utentes. Quando se trata de um pedido de diagnóstico, o agente utente é responsável por passar toda a informação necessária ao agente operador.

As tarefas executadas pelo agente utente são:

- auxílio ao utente no uso da interface da aplicação;
- solicitar a criação ou actualização de registos do utente ao agente relatório;
- solicitar informações ao agente relatório em nome do utente;
- validação de informação inserida pelo utente (colaborando se necessário com o agente relatório);
- decidir o envio dos pedidos do utente (para agente relatório ou para o agente operador);
- enviar os dados de diagnóstico inseridos para o agente operador;
- solicitar ao utente os dados necessários para efectuar o diagnóstico;
- informar o utente do diagnóstico e do encaminhamento efectuados.

(b) Agente prestador

Este também é um agente do tipo interface e representa as entidades que fornecem serviços de saúde, tais como entidades hospitalares, clínicas, centros de saúde. O agente prestador trata os pedidos de registos e actualizações de dados feitos pelas entidades prestadoras de cuidados de saúde. Quando necessita de informação sobre encaminhamentos solicita ao agente relatório a sua disponibilização.

Assim, este agente é responsável por:

- auxiliar o prestador de cuidados de saúde na interface da aplicação;
- validação de informação inserida pelo prestador (colaborando se necessário com o agente relatório);
- solicitar a criação ou actualização de registos ao agente relatório em nome do prestador de cuidados de saúde;
- solicitar informações ao agente relatório em nome do prestador de cuidados de saúde;
- informar o prestador de cuidados de saúde do encaminhamento que é efectuado aos utentes (em colaboração com o agente coordenador).

(c) Agente Operador

Este agente de software é responsável por receber pedidos do agente utente, tais como actualização de dados do formulário (identificação, localização, sintomas, etc.), registos e triagens. Os pedidos são filtrados pelo agente operador e, caso seja um pedido de diagnóstico, irá encaminhá-lo para o agente coordenador que por sua vez lança o agente diagnóstico para executar esta tarefa. Caso contrário, remete a solicitação para o agente relatório tratar.

O agente operador desempenha as tarefas de:

- complementar a informação necessária para efectuar o diagnóstico do utente (por exemplo, dados do utente que já estão em sistema);
- enviar a informação de diagnóstico para o agente coordenador;
- solicitar ao agente utente dados necessários para efectuar o diagnóstico;
- solicitar dados ao agente relatório;
- solicitar actualização de dados do utente ao agente relatório.

(d) Agente coordenador

Este agente é responsável pela coordenação do diagnóstico e encaminhamento no SIEMA. Dada a complexidade das tarefas que o agente coordenador executa, este lança os agentes diagnóstico, encaminhamento e relatório quando necessário. É também o agente coordenador que atribui as tarefas aos agentes por ele lançados e assegura que estes funcionam segundo as premissas estabelecidas.

As tarefas do agente coordenador são:

- lançar o agente de diagnóstico;
- passar ao agente diagnóstico a informação recebida do agente operador;
- passar ao agente operador a informação solicitada pelo agente diagnóstico;
- lançar o agente encaminhamento se necessário - caso se chegue a um diagnóstico que o justifique;
- informar o agente encaminhamento de quais os serviços necessários para tratar o utente (recebidos do agente diagnóstico);
- informar o agente encaminhamento da localização do utente;
- decidir se o processo de diagnóstico (foi estabelecido um diagnóstico) e encaminhamento (foi seleccionada uma entidade hospitalar) terminou com sucesso;
- informar o agente utente acerca do resultado do diagnóstico/encaminhamento;
- informar o agente prestador de cuidados de saúde que é feito um encaminhamento do utente;
- solicitar que seja feita a actualização da informação de diagnóstico/encaminhamento do utente ao agente relatório;

(e) Agente diagnóstico

O agente diagnóstico é um agente colaborativo responsável por implementar o algoritmo de diagnóstico dos utentes. Mediante os

sintomas seleccionados pelo utilizador previamente filtrados e disponibilizados pelo agente operador, bem como a idade e o sexo do utente, este agente sugere um diagnóstico e faz a correspondência com o serviço hospitalar necessário para o tratamento do utente. O agente diagnóstico utiliza índices de utilidade na heurística, para reflectir o facto de os sintomas não terem preponderância igual para estabelecer o diagnóstico.

Assim, este agente é responsável por:

- estabelecer um diagnóstico;
- decidir com base no diagnóstico se é necessário encontrar um serviço numa entidade hospitalar para o utente;
- solicitar informação adicional a que o utilizador terá que responder para continuar o diagnóstico;
- solicitar detalhes sobre os serviços existentes ao agente relatório;
- seleccionar os serviços necessários para tratar o utente mediante o diagnóstico estabelecido;
- atribuir um nível de urgência ao utente (triagem);
- enviar ao agente coordenador a informação de diagnóstico e triagem do utente e serviços adequados.

(f) Agente encaminhamento

O agente encaminhamento necessita de receber informação acerca dos serviços disponíveis nas diversas entidades hospitalares, faz a gestão das filas de espera dos utentes, recebe do agente operador a localização e a identificação (nome, idade e sexo) do utente, o serviço hospitalar necessário para o tratamento do utente indicado pelo agente diagnóstico e trata do encaminhamento para a entidade hospitalar adequada, informando o agente utente e o agente relatório.

O agente encaminhamento tem como tarefas:

- solicitar ao agente relatório informação adicional acerca dos serviços adequados para o utente (recebidos do agente coordenador);
- gerir as filas de espera dos serviços dos hospitais;
- decidir qual a entidade hospitalar mais disponível para atender o utente com base no congestionamento do hospital e na localização do utente;
- informar o agente coordenador do hospital/serviço para onde o utente é encaminhado.

(g) Agente relatório

O agente relatório é responsável por manter o registo das informações provenientes do agente utente (dados pessoais, data de acesso e localização), do agente operador (sintomas do utente), do agente diagnóstico (informação sobre serviços), do agente encaminhamento (serviços e entidades hospitalares para onde os utentes são encaminhados) e do agente coordenador (diagnóstico e triagem do utente), de forma a manter um histórico dos utentes. Periodicamente este agente envia a informação sobre os fluxos dos utentes nas urgências das entidades prestadoras de serviço de saúde para o agente encaminhador. É também este agente que trata a informação das entidades hospitalares de forma a ser disponibilizada aos outros agentes do SIEMA.

O agente relatório é responsável por:

- responder aos pedidos de informação que lhe sejam feitos pelos outros agentes;
- actualizar os repositórios de dados, incluindo o diagnóstico e a triagem dos utentes.

5.6 Estrutura do sistema multi-agente do SIEMA

Os agentes construídos formam uma sociedade de agentes, estabelecendo relações entre si, à semelhança do que acontece nas sociedades humanas.

Para desenhar a arquitectura do SMA deste projecto efectuaram-se vários passos:

- mapeamento dos requisitos do sistema em objectivos que a arquitectura tem que garantir;
- definição de uma ontologia do domínio que define os conceitos associados à informação e ao conhecimento dos agentes e com componentes essenciais da arquitectura;
- criação de um modelo de agentes que identifica os agentes necessários para concretizar os objectivos e revela as interacções entre eles;
- criação de um modelo que descreve as trocas de mensagens entre os agentes;
- criação de planos que descrevem os algoritmos que cada agente usa para alcançar objectivos específicos.

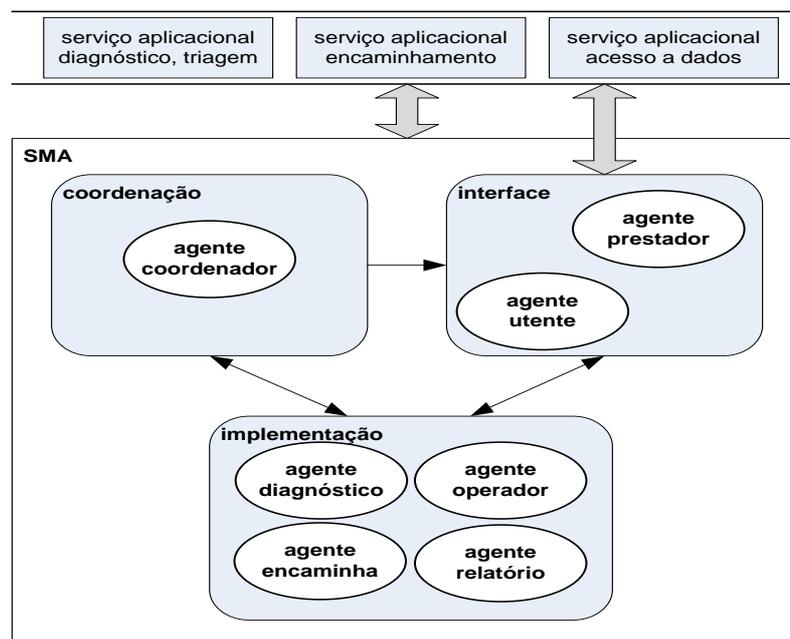


Figura 5.10: Visão geral da arquitectura do SMA do SIEMA.

Na figura 5.11 ilustram-se os fluxos de interacções entre os agentes do SIEMA, uma vez que os agentes colaboram uns com os outros para atingir os objectivos propostos (por exemplo, fazer um diagnóstico, dar uma informação ao utente, criar um registo de prestador de cuidados de saúde, etc.).

Esta colaboração é dinâmica, isto é, para executar determinada tarefa um agente geralmente necessita de interagir mais do que uma vez com outro determinado agente, e isto é especialmente necessário quando se pretende estabelecer o diagnóstico de um utente.

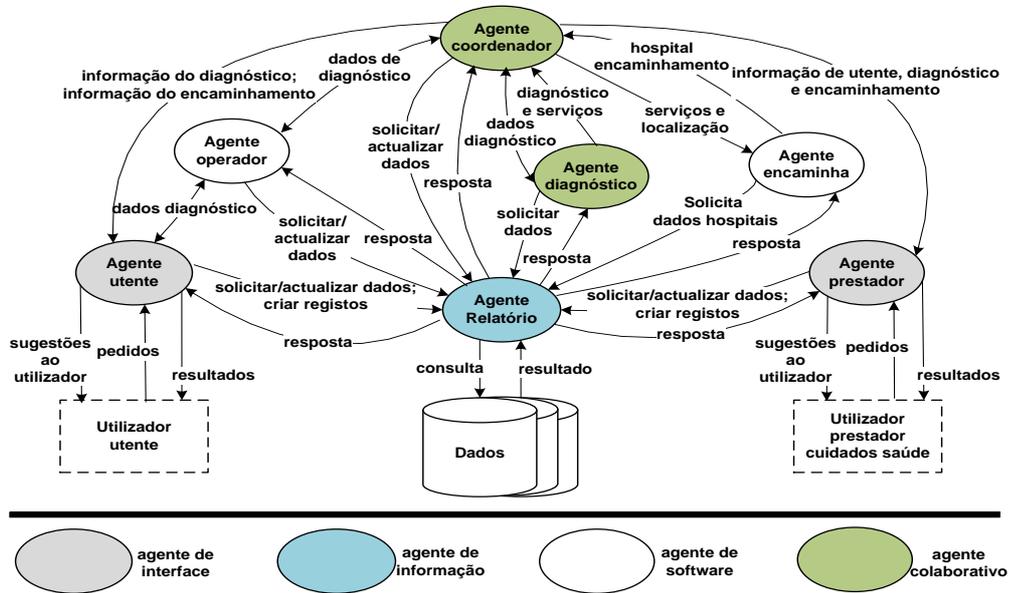


Figura 5.11: Visão geral das interações entre os agentes do SIEMA.

5.7 Estrutura interna dos agentes no SIEMA

Os agentes desenvolvidos têm características e responsabilidades diferentes e encontram-se imersos em ambientes distintos, e em virtude disso também a estrutura interna dos agentes é variada.

O diagnóstico está modelado como sendo um processo dinâmico, e isto resulta do facto de dificilmente todas as informações relevantes para chegar a um diagnóstico serem dadas logo no início do processo.

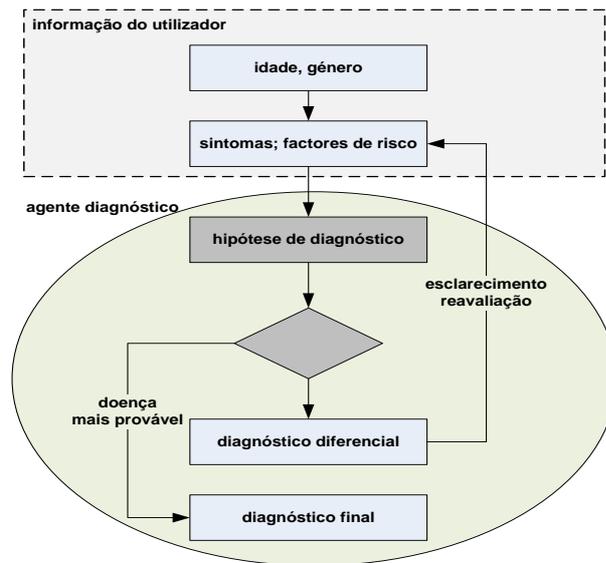


Figura 5.12: Processo de diagnóstico.

O processo para estabelecer um diagnóstico (figura 5.12) pelo agente diagnóstico é feito em 3 passos:

- (1) Reunir informação: idade, género, sintomas, factores de risco;
- (2) Formular hipóteses de doenças;
- (3) Aplicar o diagnóstico diferencial para estabelecer um diagnóstico. O diagnóstico diferencial é uma abordagem sistemática utilizada na prática médica para, com base em evidências, descobrir qual a causa (doença) dos sintomas apresentados pelo paciente, entre várias possíveis. Ao longo deste processo vão-se eliminando hipóteses até chegar a um diagnóstico. O agente diagnóstico pode solicitar explicitamente informação necessária para avaliar a hipótese de diagnóstico (confirmando ou rejeitando essa hipótese). O agente coordenador e agente operador fazem chegar esse pedido ao agente utilizador. O agente operador pode solicitar informação acerca do histórico do paciente ao agente relatório. A informação disponibilizada pelo utente (por exemplo, indicando mais sintomas ou explicitando factores de risco) é utilizada pelo agente diagnóstico para continuar o processo de diagnóstico. Existe uma hierarquização dos sintomas: determinados sintomas podem indicar situações de emergência.

5.8 Ontologia dos agentes no SIEMA

Para agir é preciso compreender e para compreender é necessário ter uma representação mental do mundo. A representação do conhecimento no protótipo do SIEMA tem como pedra basilar a conceptualização dos objectos e outras entidades que denotam uma categoria da realidade relacionada com a temática da emergência médica em Angola e as relações existentes entre elas. A representação em causa é uma simplificação da realidade e está influenciada pelos objectivos para os quais é construída.

[Gruber, 1993] define que ontologia é uma especificação explícita de uma conceptualização. Refere ainda que no contexto da inteligência artificial pode descrever-se uma ontologia de um programa definindo um conjunto de termos representacionais. Na nossa proposta, as definições dos conceitos associam os nomes das entidades que pertencem ao universo do discurso, isto é, classes, relações, funções ou outros objectos, com texto legível que descreve o significado dos nomes e axiomas formais que restringem a interpretação e obrigam ao uso bem formado desses termos.

De forma simplificada, os três elementos fundamentais em que assentam a ontologia desenvolvida neste projecto são:

- Conceitos, representando entidades no mundo real (universo dos discurso) e hierarquias entre esses conceitos;
- Relações entre os conceitos;
- Axiomas, ou seja, regras que são sempre verdadeiras.

O objectivo é que a ontologia descreva, formalize e estructure os conceitos para que se possa, através das relações estabelecidas entre os mesmos e do uso de regras construídas, raciocinar sobre o domínio de conhecimento, inferir informação com significado, e que seja possível partilhar termos e semântica em um ou mais domínios, resolvendo ambiguidades entre conceitos e definindo conceitos semanticamente equivalentes.

Assim, esta ontologia explicita o vocabulário utilizado pelos agentes do SIEMA para representar o seu conhecimento e para comunicar entre si. Os

agentes usam a ontologia desenvolvida, entendendo-se porque falam a mesma língua, mesmo que tenham conhecimentos ou objectivos diferentes.

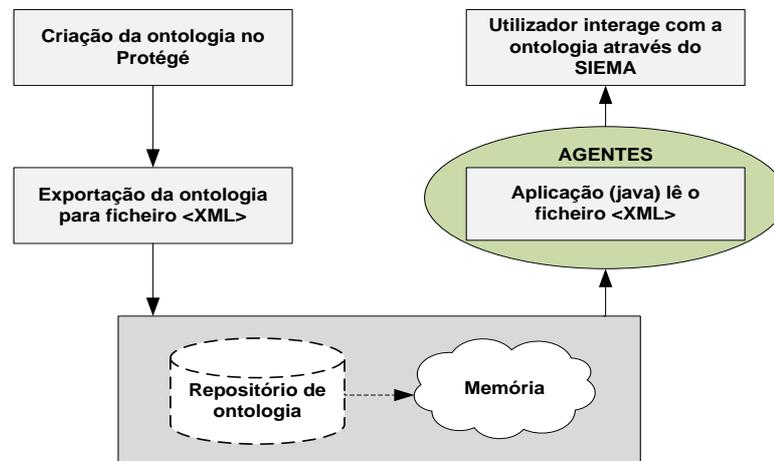


Figura 5.13: Vinculação da ontologia no SIEMA.

A vinculação da ontologia criada à aplicação do SIEMA deve-se ao facto de a ontologia ser exportada e armazenada num repositório (vide figura 5.13), podendo a mesma ser carregada em memória, o que torna o seu acesso mais rápido, e a aplicação ser capaz de processar e manipular a ontologia através da biblioteca própria para ontologias do JAVA (JENA).

Convém ressaltar que, apesar em alguns casos os nomes poderem ser coincidentes com as classes da aplicação modeladas em UML, as classes da ontologia representam a informação necessária para os agentes criarem um mapa mental do mundo e terem uma semântica comum.

No nosso protótipo SIEMA a ontologia desenvolvida é constituída por:

- Classes - conceitos que se querem representar, como é o caso de hospital, utente, sintoma, etc. Essas classes são estruturadas em hierarquias. Assim, temos a concretização da superclasse hospital e as subclasses hospital geral, hospital militar, hospital da especialidade, centro de saúde e hospital privado;
- Propriedades dos dados - são os atributos das diversas classes que constam na nossa ontologia;
- Propriedades dos objectos - trata-se das relações entre as classes modeladas (a título de exemplo, doença e sintoma estão relacionadas);

- Indivíduos - os conceitos abstractos são concretizados através dos elementos das classes. No nosso caso, podemos apontar que febre ou dor de cabeça são membros da classe sintoma);
- Características lógicas das relações, como restrições de domínio, propriedades de simetria, transitividade. Concretizando, na nossa ontologia temos que doente é um utente com pelo menos uma determinada doença.

Dada a complexidade da ontologia construída, optou-se por apresentar na figura 5.14 apenas os conceitos de mais alto nível criados na ontologia.

Para criar a ontologia realizaram-se entrevistas a vários especialistas na área da saúde em Angola e pesquisou-se em artigos de revistas ligadas à temática.

Especificamente para os conceitos 'doença' e 'sintoma' consultaram-se também sítios na internet como o <http://www.obofoundry.org>, onde pudemos verificar que existem ontologias com as classes e subclasses destes conceitos, mas sem especificar quaisquer relações ou axiomas. Neste âmbito concreto, o maior desafio foi relacionar os conceitos doença com sintoma e estes com triagem.

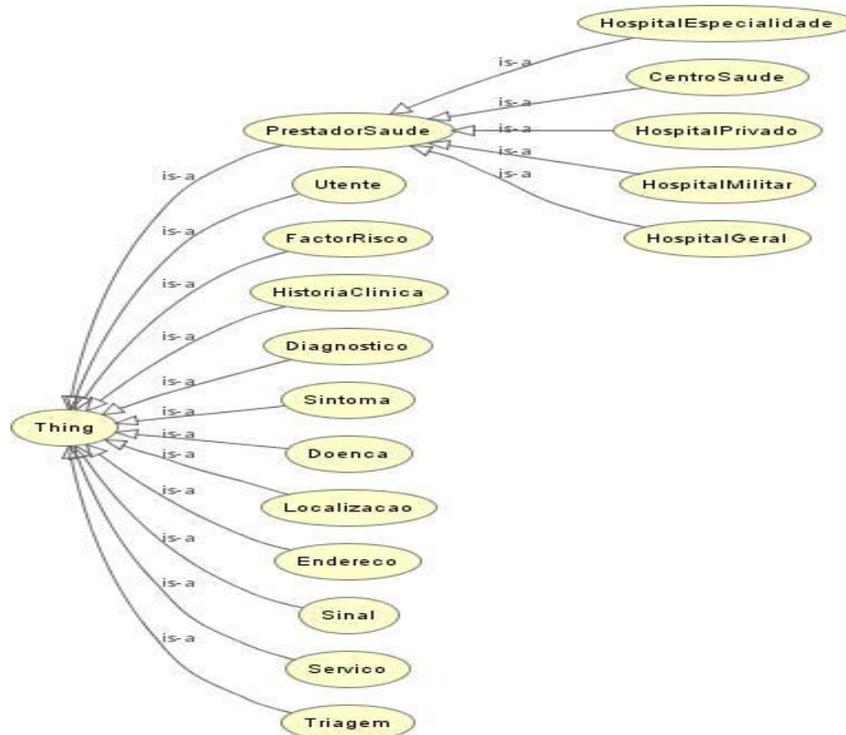


Figura 5.14: Conceitos de alto nível representados no Protégé.

No desenvolvimento da ontologia seguiram-se os seguintes passos, pela ordem mencionada:

- (1) Definição das classes e subclasses com uma aproximação *top-down*, isto é, primeiro foram criadas as classes para os conceitos mais gerais, seguidamente as suas subclasses;
- (2) Criação dos atributos das classes e subclasses da ontologia;
- (3) Criação das relações entre as classes;
- (4) Foram criadas as restrições das propriedades;
- (5) Criação de instâncias.

A modelação da ontologia foi um processo iterativo, tendo-se repetido o processo de desenvolvimento tantas vezes quanto as necessárias para obter a ontologia suficientemente refinada.

5.9 O porquê dos agentes no SIEMA

Os agentes, e em especial os sistemas multi-agente, são um paradigma muito útil para modelar e concretizar as entidades lógicas de alto nível que são utilizadas num sistema que necessita de componentes de software que possuam autonomia, interacção e um processo dinâmico de tomada de decisão. Dado que no SIEMA as características mencionadas são necessárias, para a construção dos seus módulos centrais recorreu-se a uma sociedade de agentes. As principais motivações para a utilização de agentes neste projecto prendem-se com as capacidades de iniciativa, adaptação, cooperação e execução autónoma dos agentes (cada agente decide qual a acção a tomar, mediante o estado do ambiente, o seu mecanismo de controlo e os seus objectivos).

Por outro lado, sentimos que a utilização de SMA obrigou a um esforço suplementar no desenho dos componentes de software (agentes) tendo em vista que se procurou criar um SMA de acordo fundamentalmente com premissas de economia (os comportamentos são apenas os necessários para que o agente cumpra os seus objectivos), equilíbrio (procurou-se que a quantidade de agentes fosse adequada às tarefas que é necessário

desempenhar num ponto de vista global) e distribuição (não concentrar num agente a maior parte do processamento, o que causaria um estrangulamento no desempenho global do SIEMA).

No entanto, este esforço adicional que foi necessário efectuar compensou pelas características que foi possível introduzir no SIEMA, graças ao recurso ao paradigma dos agentes.

6. Simulação Social no SIEMA

“Os verdadeiros artistas criam coisas reais e que serão usadas”.
Steve Jobs

Existe em Angola uma preocupação crescente por parte dos decisores políticos com a maximização da eficiência e eficácia das políticas públicas delineadas e a satisfação das populações. Traçar políticas públicas de saúde, implementá-las, acompanhá-las, avaliar os seus resultados e impactos na sociedade é um problema complexo não estruturado, dados os factores sociais, económicos, políticos, financeiros e os conflitos de interesse que é necessário gerir e prever. Os factores sociais, económicos e políticos são não só uma condicionante para a criação das políticas de saúde, mas também um resultado da implementação dessas políticas, gerando um sistema dinâmico e com algum coeficiente de incerteza em relação aos resultados que serão obtidos quando as políticas forem colocadas em prática.

6.1 Optimização no Sistema de Emergência Médica

Para o problema que se analisa neste capítulo, a optimização de políticas para o sistema de emergência hospitalar pode ser encarada de dois pontos de vista distintos: por parte dos utentes e por parte dos prestadores de cuidados de saúde. Para os utentes, optimizar significa diminuir o seu tempo de espera e atendimento no serviço de saúde e minimizar a taxa de mortalidade. Para as entidades prestadoras de cuidados de saúde, optimizar significa racionalizar a ocupação dos recursos disponíveis, que podem ser limitados, e minimizar desproporcionalidades no acesso aos mesmos.

A concretização do objectivo de optimização obriga a perceber o funcionamento e a compreender as particularidades do investimento público no sector da saúde, ter sensibilidade quanto às necessidades dos utentes, conhecer os diferentes métodos de avaliação das políticas públicas e escolher a metodologia mais adequada.

Nos processos sociais complexos, e em particular de sociedades humanas, é frequente a utilização de teorias e modelos, em detrimento da simulação. Com a utilização da simulação social para estudar soluções para os serviços de urgências hospitalares, constrói-se uma ideia clara do problema e contribui-se para perceber a questão, criando um modelo computacional robusto, útil e preciso, atribuindo a cada parâmetro da simulação um determinado valor. A utilização da simulação permite colocar o esforço sobre o modelo, ao invés de sobre os dados, que é a forma clássica de estudar este tipo de problema, mas que apresenta o inconveniente de ser difícil e moroso obter dados em quantidade e qualidade suficiente para a construção em tempo útil de um modelo do real, até porque são altamente dinâmicos e se adaptam constantemente a novas realidades.

No âmbito da avaliação de políticas, utilizam-se normalmente diversas abordagens para construir sistemas de simulação social:

- Teorias e modelos conceptuais que são expressos de forma textual ou, mais habitualmente, através de equações (como a econometria, a econofísica ou a previsão económica);
- Modelos computacionais, usualmente baseados em sistema multi-agente. Os modelos computacionais baseados em agentes, para além de uma componente analítica robusta também são eficazes na forma como apresentam os resultados [Axtell, 2000], permitem realizar experimentações em sistemas sociais artificiais que não seriam possíveis efectuar nas populações humanas [Gilbert, 2004].

Uma abordagem tradicional utilizada para avaliar a implementação dos modelos delineados é a econométrica, dependente de funções de utilidade e baseada em comportamentos individuais esperados relativamente

homogéneos. Apesar de ser um campo amplamente estudado e que permite a avaliação de hipóteses, para o caso concreto que se trata nesta proposta não é uma abordagem vantajosa: por um lado, exige uma quantidade de dados detalhados e de boa qualidade e por outro lado, uma alteração mínima nas suposições pode implicar resultados díspares, o que dificulta o seu uso para efectuar previsões correctas.

A previsão económica também tem sido utilizada neste tipo de problema, mas prever com um grau de exactidão que seja útil para estabelecer das políticas, neste tipo de metodologia, exige a definição dum modelo da realidade tão completo quanto possível do qual se possam extrair previsões. No entanto, um modelo de um sistema complexo não é nunca completo, existem variáveis que são influenciadas por factores externos ao próprio modelo.

Ambos os modelos (econométrico e previsão económica) são adequados para analisar sistemas menos complexos, com menos interacções, mais homogéneos e estáveis. Nas últimas décadas têm surgido aproximações interdisciplinares, como a econofísica, que usa modelos físicos para explicar fenómenos económicos. Apesar de representar um campo de estudo promissor e que permite lidar com a heterogeneidade e a incerteza que está presente na área da saúde, os modelos físicos e matemáticos subjacentes a esta aproximação não facilitam a sua utilização por parte dos decisores políticos.

Outra abordagem é a dinâmica de sistemas, que mostra como a estrutura organizacional, a amplificação das políticas e os atrasos nas tomadas de decisão e acções interagem [Forrester, 1958]. Foi criada na década de 50 e modela os sistemas recorrendo a conceitos como stocks (níveis que representam a variação de recursos tais como bens, pessoas, dinheiro ou entidades agregadas), fluxos (movimentos entre os recursos do sistema) e informação que determina o valor dos fluxos. Esta simulação, utilizada para sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, assenta em equações diferenciais e é imprescindível que se disponibilize informação quantitativa precisa para que possam obter resultados correctos.

A abordagem designada eventos discretos surgiu na década de 60 do século passado. A modelação dos sistemas é feita recorrendo a diagramas de fluxo com actividades e recursos onde entidades (pessoas, bens, tarefas, entre outros) circulam e são processadas. Esta abordagem é adequada para modelar sistemas que mudam de estado pela ocorrência de eventos em pontos discretos de tempo, tendo para o efeito que se modelar as regras de transição que conduzem às mudanças de estado das entidades.

O paradigma de sistemas multi-agente é usado desde a década de 90 na área da simulação social para atacar problemas que por terem uma natureza complexa, dinâmica, descentralizada e distribuída são dificilmente modeláveis usando uma perspectiva *top-down*. Nesta abordagem, a modelação e simulação do sistema assenta no uso de agentes inteligentes (componentes de software com características de reactividade, pro-actividade, cooperação, autonomia, capacidade de aprendizagem). Ao contrário da dinâmica de sistemas e de eventos discretos, em que o comportamento global do sistema tem que ser explicitamente modelado, aqui o comportamento é definido a nível individual (do agente) e o comportamento do sistema emerge a partir das interacções entre os agentes.

6.2 Simulação social baseada em agentes

A simulação social é uma área científica em expansão, com resultados discutidos em várias conferências internacionais [Hassan et al, 2010] e constitui um dos métodos mais utilizados para compreender fenómenos sociais, testar cenários que contribuam para a optimização dos processos sociais concretos e prever comportamentos futuros que resultam da aplicação de medidas que eventualmente surjam pela compreensão das realidades sociais e construção dos cenários.

A simulação baseada em múltiplos agentes é a abordagem que oferece a possibilidade de utilizar os princípios da inteligência artificial distribuída para avaliar diferentes cenários da política pública de serviços de emergência médica. É utilizado um conjunto de agentes autónomos incorporados nos objectos e personagens virtuais com raciocínio cognitivo nos quais ocorre a

troca de conhecimentos, possibilitando a criação de uma sociedade artificial onde os diferentes actores envolvidos podem ser representados e os resultados das acções observados.

Num sistema multi-agente os agentes interagem entre si e com o mundo virtual onde se encontram. Os agentes são capazes não só de reagir ao ambiente que os rodeia, mas também de agir sobre o mesmo. São dotados de autonomia, de flexibilidade e capacidade de adaptação e são capazes de agir de forma a alcançar os seus objectivos de acordo com os critérios de avaliação das suas acções e justificando as suas decisões. Estas propriedades são adequadas para a construção de simulações para sistemas sociais complexos (onde a compreensão do comportamento global do sistema não é alcançada pelo particionamento do mesmo e pela análise de cada uma partes), abertos e dinâmicos como é o caso do sistema que se pretende estudar e simular.

A simulação social baseada em sistemas multi-agente é uma abordagem indicada em simulação de sociedades (em particular sociedades humanas) onde por natureza existem conflitos de interesse, com o objectivo de compreender situações complexas (com risco e custos elevados) e prever comportamentos futuros, neste caso da política pública de serviços de emergência médica.

A simulação baseada em agentes visa a construção e teste de cenários socioeconómicos nos quais é possível observar, mediante alterações nos intervenientes, o impacto resultante no sistema. Por outro lado, a maior parte dos problemas que a sociedade coloca são demasiado complexos para serem avaliados de forma analítica, sendo mais adequado o uso da simulação. Esta permite que o modelo que se constrói para representar a realidade seja avaliado numericamente [Law, 2006].

Vantagens dos Agentes na Simulação Social

- Em [Bonabeau, 2002] apresentam-se vantagens da utilização de agentes no caso concreto da simulação social: captura os fenómenos emergentes, fornece uma descrição natural de um sistema e é flexível.

A flexibilidade manifesta-se por exemplo na facilidade com que algumas assumpções podem ser alteradas ou acrescentadas ao longo do desenvolvimento do projecto, podendo assim começar-se por implementações mais simples, que depois vão evoluindo à medida que o modelo é testado e se verificam as consequências que essas assumpções têm no funcionamento do modelo. Esta possibilidade de ‘voltar atrás’ na simulação e introduzir um maior grau de complexidade tem sido referida como uma vantagem da modelação baseada em agentes [Hassan *et al*, 2013].

- É possível modelar os sistemas como um conjunto de agentes heterogéneos e interdependentes, com capacidade de interagirem de uma forma descentralizada, em que, aplicando regras que são uma simplificação da realidade, se conseguem obter padrões de comportamento complexos. A ideia de que o comportamento do conjunto (neste caso sociedade) não se obtém a partir da simples agregação dos comportamentos individuais foi estudada em vários trabalhos científicos, de entre os quais se podem destacar o clássico '*Schelling Segregation Model*' [Schelling, 1978].
- A utilização de agentes inteligentes contribui para tornar a modelação mais intuitiva, uma vez que habitualmente é feita a correspondência entre agente na simulação - agente no real e, também, porque permite uma ampla heterogeneidade de entidades, possibilita uma maior variedade de situações que podem ser modeladas. Também a nível da afinação das variáveis de entrada do modelo, a sua alteração é simples, o que por sua vez facilita a construção e teste de cenários e a posterior análise dos mesmos.
- Outra vantagem muito importante é o facto de esta abordagem ser adequada para modelar sistemas adaptativos e evolutivos e permitir modelar o real e observar os resultados em diferentes níveis [Antunes *et al*, 2007]. Por último, referir que esta é a forma mais natural de simular comportamentos inteligentes e relações sociais.

Os modelos computacionais baseados em agentes, para além de uma componente analítica robusta, também são eficazes na forma como apresentam os resultados [Axtell, 2000], daí ser a abordagem utilizada para atacar a problemática da optimização de políticas para o sistema de emergência hospitalar, tendo como pano de fundo e inspirador o caso angolano.

No sistema de emergência médica existem vários factores que determinam a eficiência da resposta dada pelo sistema, mas que individualmente podem assumir valores muito diferentes, podem ter diversas formas de interacção e no conjunto terem graus de imprevisibilidade que condicionam a eficácia da construção de modelos explicativos ou que permitam fazer a previsão com um nível de certeza que possibilite o seu uso na decisão política.

Em função de alterações nos parâmetros de entrada da simulação (que representam os intervenientes no serviço de urgência hospitalar) e tendo um modelo de simulação baseado em multi-agente adequado que simule o comportamento dinâmico deste sistema e a complexidade das suas interacções, pode avaliar-se que alterações são necessárias efectuar para o tornar mais eficiente.

Dada a complexidade do problema a atacar, que se concretiza no número de entidades, na diversidade de relações e quantidade de interacções, seguiu-se uma metodologia *bottom-up*. Neste caso concreto, esta metodologia é a mais favorável uma vez que permite criar um sistema que tem um maior grau de flexibilidade. Adicionalmente, neste tipo de problema é impossível prever todas as excepções que podem ocorrer e reunir todo o conhecimento necessário para desenvolver o sistema seguindo uma metodologia *top-down*. Com a metodologia *bottom-up*, constrói-se um modelo relativamente simples que permite o surgimento de comportamentos e padrões complexos de interacção entre os vários elementos (agentes). Estas interacções são influenciadas pelos valores atribuídos aos parâmetros de entrada da simulação, que afectam a evolução do sistema e o estado final do mesmo.

6.3 Acesso ao sistema de emergência hospitalar angolano

O requisito fundamental do sistema de emergência hospitalar angolano é conseguir responder da forma mais rápida e eficiente a situações de emergência médica, como doenças agudas ou graves e outras situações resultantes de acidentes, intoxicações, incêndios, cataclismos, que podem colocar um indivíduo em perigo de vida ou causar-lhe complicações de saúde graves e permanentes. Não existe um acompanhamento do estado de saúde do utente ao longo do tempo por parte do sistema de emergência hospitalar (SEH), apesar de, em consequência de um episódio de urgência, os utentes poderem ser encaminhados para outros serviços que estejam orientados para a prestação desse tipo de cuidados.

Vários factores concorrem para degradar a resposta dada pelo SEH aos utentes. Para além dos motivos de natureza mais previsível e controlável, como a existência de recursos materiais disponíveis, existem outros mais complexos, como sejam a gestão dos vários tipos de interesses dos grupos de intervenientes (profissionais de saúde, utentes ou gestores hospitalares) até outros factores de natureza mais imprevisível como sejam o afluxo de utentes ao serviço, num determinado momento, em resultado de um cataclismo.

A realidade do sistema de saúde angolano na área da emergência hospitalar é caracterizada pela existência de uma taxa elevada de mortalidade entre os utentes que recorrem a esses serviços, muitas vezes causada por ineficácia, erro ou falta de recursos.

De uma forma abreviada, pode dizer-se que os principais desafios que o SEH angolano enfrenta são:

- Diminuir o tempo de espera dos utentes nas entidades hospitalares;
- Optimizar a exploração dos recursos disponíveis;
- Aumentar a eficácia da resposta dada aos utentes;
- Desenvolver uma coordenação entre os serviços dos hospitais e entre as diversas entidades ligadas à área da saúde;

Um sistema de informação e aconselhamento médico que possa distribuir os utentes o mais equitativamente possível pelas entidades hospitalares, considerando a adequação entre os serviços médicos disponíveis, o afluxo de utentes a essas entidades e a patologia e estado de gravidade do utente constitui uma solução que pode responder a estes desafios. Um SEH que preencha estes requisitos é denominado neste trabalho como ‘SEH organizado’ (SEHO). Em última análise, com a implementação do SEHO o serviço prestado pelas entidades hospitalares poderá contribuir de uma forma mais assertiva para a diminuição da taxa de mortalidade e para o aumento da satisfação dos utentes em relação ao SEH.

Considerando as razões pelas quais é útil construir modelos [Epstein, 2008], trabalhou-se no sentido de ter um modelo com a capacidade de revelar dinâmicas fundamentais, evidenciar equilíbrios e eficiências, tendo como objectivo validar de que forma e até que ponto a implementação de um SEHO pode contribuir para o aumento da qualidade da resposta dada pelo SEH.

Para isso colocaram-se várias perguntas experimentais, que são alvo da simulação implementada, tais como:

- A existência de um nível de organização contribui para a diminuição da mortalidade dos utentes?
- No caso do SEHO, a distribuição dos utentes é mais uniforme?
- Se os utentes estiverem mais informados sobre a gravidade do seu estado, o recurso à urgência é menor?
- A filtragem de doentes muito graves torna o sistema mais expedito?
- O tipo de modelo do SEH (com ou sem organização) contribui para a diminuição do tempo de tratamento dos utentes?

6.4 Modelo de serviços de emergência médica

É difícil definir um modelo da simulação, daí a necessidade prévia de um estudo aprofundado do problema para se ter a noção do que é preciso

modelar e simular, definindo questões concretas de forma a ter um nível de abstracção ilustrativa do modelo do SEH e a evitar desenhos genéricos ou simplistas, que deixam de lado características fulcrais do sistema a simular. Para a elaboração do modelo da simulação recorreu-se à linguagem de modelação UML, considerando os seguintes passos para o desenho de um sistema de simulação:

- Definir os tipos de objectos a utilizar e que serão uma abstracção dos intervenientes do caso real. Estes intervenientes são concretizados como agentes no mundo virtual ou, mais raramente, como objectos que representam características relevantes para o caso a simular. Os tipos de objectos são organizados em classes, tendo cada classe no topo um objecto genérico e subclasses. As instâncias das classes são os objectos.
- Definir os atributos dos objectos, que representam as características que os diferenciam entre si. Os objectos das subclasses herdam os atributos das classes superiores das quais derivam.
- Especificar o ambiente virtual onde os objectos estão inseridos. No caso concreto de urgências hospitalares que pretendemos simular, este ambiente consiste numa rede de interligações entre os agentes envolvidos, representando ligações reais, por exemplo, distâncias físicas, comunicações, etc.
- Introduzir a componente dinâmica do sistema, i.e., as formas de interacção agente-agente e agente-ambiente. Como temos agentes que não só têm capacidade de influenciar e de ser influenciados, mas também de terem autonomia, objectivos e capacidade de colaboração e adaptação, é possível criar uma componente dinâmica muito forte. Esta componente foi modelada recorrendo a diagramas de interacção UML.
- Por fim, tratar da interface com o utilizador, dando uma atenção suplementar aos componentes que permitem ao utilizador passar os parâmetros de entrada para a simulação e aos que permitem visualizar os resultados da mesma.

6.4.1 Entidades

No ataque ao problema começa-se com uma simplificação do que acontece no real: os modelos devem ser inicialmente simples e a complexidade final do modelo tem que ser menor do que a do fenómeno observado na realidade [Macy, 2001]. As entidades modeladas são ‘Centro de Atendimento e de Encaminhamento’, ‘Utente’ e ‘Entidade Hospitalar’. Nesta fase do trabalho interessa explorar as interacções entre estes três intervenientes e a contribuição do tipo de modelo do sistema de emergência hospitalar para a eficiência e eficácia do referido sistema, pelo que não são incluídos outros intervenientes do SEH como médicos, gestores hospitalares, decisores políticos, etc.

O Centro de Atendimento e de Encaminhamento é um serviço disponível apenas no SEHO de forma permanente pelo acesso telefónico e portal web, tendo como valências:

- Obtenção por parte dos utentes de informações sobre as diversas entidades hospitalares tais como os serviços existentes, as suas localizações e outras;
- Encaminhamento para a entidade hospitalar conveniente tendo em conta a descrição do estado de saúde do utente, fazendo uma avaliação da gravidade do estado do mesmo e atribuindo-lhe uma possível patologia.

O Utente é a pessoa que numa dada altura recorre ao sistema de saúde para que lhe sejam prestados os cuidados médicos adequados à situação de urgência em que se encontra.

Descrição da entidade Utente:

- O Utente tem uma determinada localização;
- O Utente desloca-se pelo território ao longo do tempo, com o objectivo de ser assistido numa entidade hospitalar;
- No sistema de emergência hospitalar organizado, o utente

pode contactar o centro de atendimento e encaminhamento, fornecendo possíveis sintomas para que seja feito um diagnóstico prévio;

- O Utente tem um estado de gravidade associado que evolui ao longo do tempo.

Atributos da entidade Utente:

- Gravidade do estado;
- Tempo de vida (esperado). O valor deste atributo é alterado pela situação clínica do utente e degrada-se caso o paciente não seja tratado.
- Localização do utente (a sua localização também afecta a escolha do hospital ao qual se deslocará, no caso em que outros factores não sejam diferenciadores);
- Serviço hospitalar adequado à condição de saúde do utente (este factor pode implicar a deslocação do utente para um outro hospital – temos por exemplo o caso em que um utente precisa de uma intervenção cirúrgica de urgência, mas esse serviço não existe num determinado hospital).

Na entidade Utente os estados de gravidade são os seguintes:

	Utente curado		Utente com um estado ‘Mais Grave’
	Utente com estado ‘Menos Grave’		Utente com um estado ‘Específico’
	Utente com um estado ‘Grave’		Utente Morto

Figura 6.1: Estado do Utente.

A Entidade Hospitalar é o organismo que tem como objectivo prestar os cuidados de saúde aos utentes mediante a necessidade destes.

Descrição da Entidade Hospitalar:

- A Entidade Hospitalar tem uma determinada localização;

- Cada Entidade Hospitalar é de um determinado tipo;
- A Entidade Hospitalar tem serviços e recursos disponíveis;
- A Entidade Hospitalar encaminha os utentes de acordo com o estado de saúde destes.

Atributos da Entidade Hospitalar:

- Tipo;
- Localização;
- Serviço disponível;
- Congestionamento do atendimento de urgência.

A Entidade Hospitalar é de um dos seguintes tipos:

- Hospital público;
- Hospital privado;
- Hospital especialidade;
- Centro médico.

O hospital público é a entidade que está vocacionada para prestar cuidados aos utentes que se encontram num estado grave ou muito grave, correspondendo a um hospital geral. Este tipo de hospital é o que tem a maior variedade de serviços disponíveis.

O hospital privado tem capacidade para dar assistência a utentes com um estado grave. Não está direccionado para prestar cuidados de saúde a utentes que apresentem um quadro que corresponda a uma patologia específica, como tuberculose ou SIDA.

O hospital de especialidade está direccionado para o atendimento de utentes com um caso específico, como por exemplo doentes com tuberculose, ou para parturientes.

O centro médico é a entidade que presta cuidados de saúde básicos e não tem meios técnicos para atender doentes com elevado nível de gravidade ou com casos específicos.

6.4.2 Agentes

Os agentes foram programados em NetLogo [Wilensky, 1999], um dialecto da linguagem de programação Logo. Os agentes implementados nesta proposta tem uma forte componente de cooperação e autonomia, ou seja, segundo a tipologia de [Nwana, 1996] podem classificar-se como agentes colaborativos.

Agente Paciente (AP) – é a concretização da entidade ‘Utente’. O objectivo do AP é ser tratado numa entidade hospitalar ou aconselhado pelo CAE. O AP desloca-se para uma entidade hospitalar de acordo com a sua localização ou na sequência de um encaminhamento. A quantidade de agentes do tipo ‘Agente Paciente’ é variável e definida pelo utilizador na interface da simulação. Ao longo da simulação, a quantidade destes agentes vai diminuindo, uma vez que cada agente é destruído quando atinge o estado ‘morto’ ou ‘curado’. A sobrevivência do AP varia em função do seu tempo de vida, da probabilidade do seu estado ser alterado para mais ou menos grave e da probabilidade de ficar curado. O tempo de vida é alterado em função da gravidade do estado de saúde do AP (estados mais graves diminuem o tempo de vida) e pelos agentes Entidade Hospitalar (antes de encaminharem o utente aumentam o seu tempo de vida). O estado ‘morto’ é alcançado quando o AP esgota o seu tempo de vida.

Agente Entidade Hospitalar (AEH) – O objectivo do AEH é tratar o AP. Para tratar o AP, o AEH conhece a gravidade do estado de saúde e a patologia daquele. A quantidade e tipo de AEH são pré-determinados e o utilizador da simulação não os pode alterar, estes valores foram decididos seguindo um levantamento de entidades hospitalares da cidade de Luanda. O AEH interage com o AP alterando-lhe o tempo de vida, atribuindo-lhe o estado ‘curado’ ou

encaminhando-o para AEH adequados. O simulador poderá ser actualizado para reflectir mudanças na situação.

Agente Centro de Atendimento e Encaminhamento (ACAE) – O ACAE é criado quando se simula um SEHO (sistema de emergência hospitalar organizado), via um parâmetro disponível na interface da simulação. Este agente é responsável por responder aos pedidos de aconselhamento dos AP. O ACAE interage com os AP alterando-lhes o estado para ‘curado’, ou encaminhando-os para AEH com base na gravidade do estado de saúde e a patologia daqueles e nos serviços e disponibilidade das entidades hospitalares.

6.4.3 Algoritmos de decisão

O modelo da simulação foi estruturado no sentido de explorar a complexidade das interacções entre as entidades de saúde e o acesso a um maior grau de informação por parte dos utentes. O modelo comporta duas formas de organização dos serviços de emergência hospitalar:

1. Uma versão em que os utentes se dirigem para os hospitais e para os centros médicos de uma forma desorganizada, sem levar em conta o seu estado de gravidade;
2. Outra versão que tem um nível de organização que contempla:
 - A utilização de um centro de atendimento a que o utente pode aceder (via telefone ou internet) e que constitui uma primeira linha no acesso do utente aos recursos do SEHO, isto é, o centro é um serviço que tem capacidade de orientar e filtrar os utentes. Mediante o seu estado e patologia, encaminha o utente para uma determinada entidade hospitalar ou evita o acesso à urgência, direccionando-o para um centro médico.
 - A utilização do mesmo centro de atendimento e encaminhamento por parte das entidades hospitalares com objectivo de avaliar ou reavaliar o estado e patologia do utente e caso seja necessário transferi-lo: o

utente não se encontra na entidade hospitalar adequada;
o estado de saúde do utente não é grave e a entidade hospitalar está com índice muito elevado de sobrelotação.

Na figura 6.2, pode observar-se a dinâmica do modelo de simulação quando é utilizado o SEHO, e quando os utentes recorrem ao centro de atendimento e de encaminhamento.

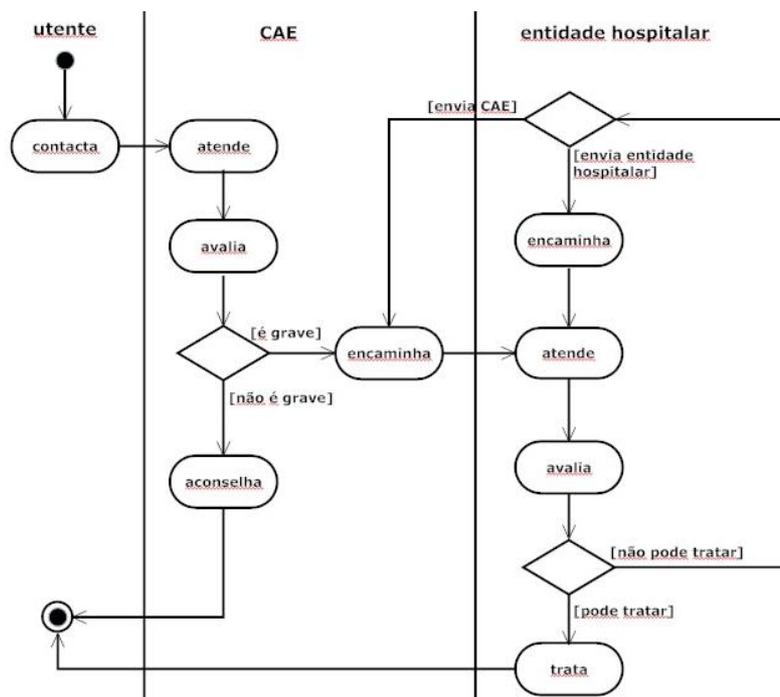


Figura 6.2: Diagrama de actividades quando o utente usa CAE.

Neste contexto, o utente (Agente Paciente) envia uma mensagem ao CAE (representado pelo Agente Centro de Atendimento e Encaminhamento) solicitando o seu serviço de atendimento. O ACAE recebe o pedido do AP e avalia-o. Se o atributo ‘gravidade do estado do Agente Paciente’ tiver o valor “menos grave” então o Agente Centro de Atendimento e Encaminhamento altera o gravidade do estado para “curado”, que retira o Agente Paciente da simulação. Caso contrário, o ACAE verifica se o atributo serviço disponível do AEH (Agente Entidade Hospitalar) corresponde com o serviço necessário para o AP e encaminha. O AEH que recebe o pedido verifica se o atributo gravidade do estado do Agente Paciente

é o esperado e então altera o estado do AP para “curado”, ou, caso contrário, envia o pedido para outro AEH ou para o ACAE.

Por outro lado, mesmo no SEHO, nem sempre os utentes utilizam o CAE (centro de atendimento e encaminhamento). Este caso foi modelado tendo em conta que na realidade nem todos os utentes podem, ou querem, usar o centro de atendimento e de encaminhamento. Nesses casos, o comportamento do utente é igual ao comportamento que teria no modelo de simulação do SEH desorganizado. No caso do hospital não ser capaz de tratar do utente, vai encaminhá-lo para uma entidade hospitalar adequada.

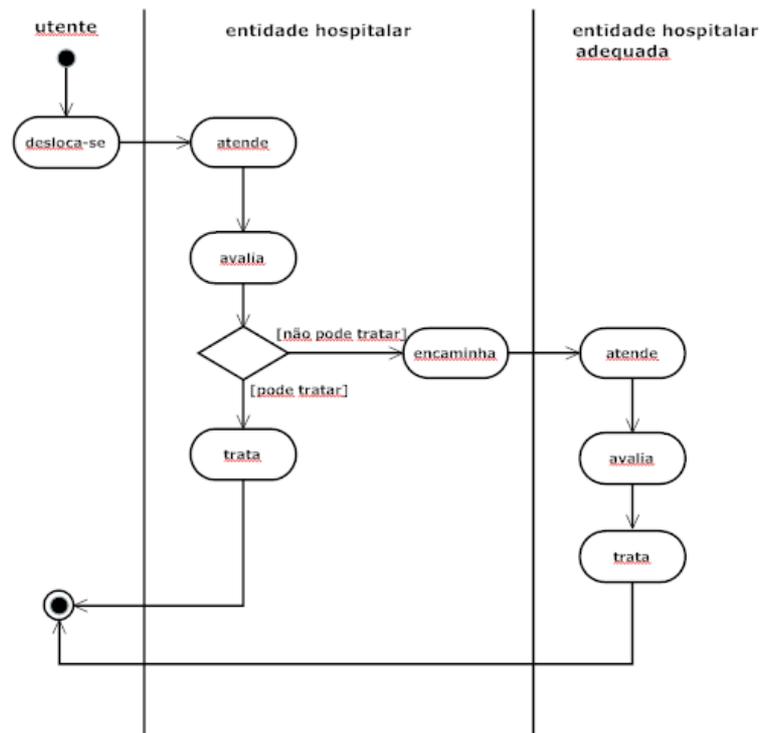


Figura 6.3: Diagrama de actividade quando utente não usa CAE.

O modelo da simulação para o SEHO foi concebido de forma a que a sobrelotação nas emergências das entidades hospitalares seja um factor que condiciona o encaminhamento do utente. No entanto, uma vez que a situação clínica do utente pode alterar-se ao longo do tempo, o encaminhamento pode não garantir que a entidade hospitalar seja a adequada.

Ao longo da simulação cada utente pode ver a gravidade do seu estado de saúde alterada, passando por vários estados mencionados na Figura 6.1, ressalvando que ‘utente curado’ e ‘utente morto’ são estados finais, isto é, que uma vez atingidos já não são alterados. A distribuição das probabilidades é variável e controlada no interface da simulação. As transições entre estados dependem do tempo de vida do utente e da probabilidade de alteração da gravidade.

O utente atinge o estado ‘curado’ quando sai do sistema de emergências hospitalares. Isto pode ser alcançado de duas formas:

- Deslocar-se ou ser encaminhado, em tempo útil, para uma entidade hospitalar que o trata;
- Receber aconselhamento pelo centro de atendimento e encaminhamento no sentido de que o seu estado não justifica a ida às urgências.

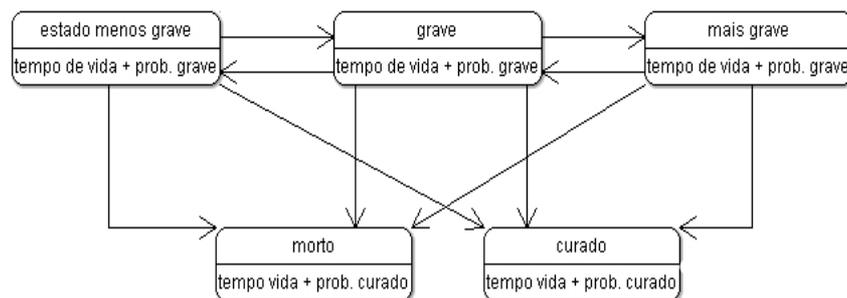


Figura 6.4: Diagrama de Estados da situação de saúde do utente.

No modelo criado, o utente permanece na simulação até que atinja o estado ‘Curado’ ou o estado ‘Morto’ e a simulação termina quando todos os utentes atingem um destes estados.

6.5 Interface da Simulação

Para implementar a simulação utilizou-se a plataforma para simulação baseada em agentes fornecida pelo NetLogo [Wilensky, 1999]. Esta plataforma é uma das especialmente direccionadas para a simulação baseada em agentes na área das ciências sociais [Nikolai, 2009].

Como pontos fortes desta ferramenta pode apontar-se a sua adequação ao paradigma de sistemas multi-agente, ser multi-plataforma, ser de fácil utilização e ter uma biblioteca de modelos testados. Para além disso a sua interface permite uma visualização da execução da simulação conveniente e é rápida e simples a alteração dos valores dos seus parâmetros.

A principal desvantagem encontrada prende-se com o facto de ter um editor de texto demasiado básico para o caso de se construir um programa extenso.

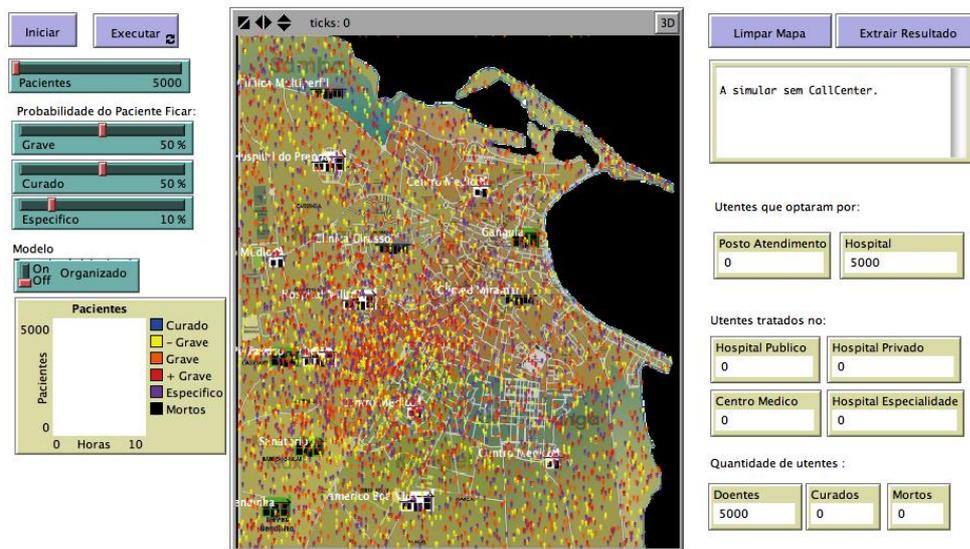


Figura 6.5: Interface inicial do protótipo da simulação.

No protótipo apresentado, a simulação é feita em três passos:

1. Atribuem-se valores aos parâmetros que estão disponíveis na interface;
2. Cria-se o ambiente, colocam-se os agentes nesse ambiente, inicializam-se variáveis e passam-se parâmetros para a simulação, tudo isto no botão 'INICIAR';
3. Por fim corre-se a simulação, clicando no botão 'EXECUTAR'.

Para controlar a simulação e analisar as hipóteses de estudo disponibilizam-se vários parâmetros na interface do nosso protótipo, como se explicita no ponto 6.5.

6.6 As simulações e resultados preliminares

6.6.1 Parâmetros da simulação

A simulação ocorre num tabuleiro com a representação do mapa de Luanda, pelo qual os agentes ‘Utente’ se deslocam em busca de assistência médica nas entidades hospitalares existentes. Esta deslocação é feita em cada instante de tempo e termina para cada utente quando ele atinge o estado ‘Curado’ ou o estado ‘Morto’. A simulação termina quando a quantidade de utentes mortos somada à dos utentes curados é igual ao total de utentes utilizado na simulação.

O utilizador pode controlar as simulações na interface usando cinco parâmetros (pacientes, grave, curado, específico, organizado) que são do tipo *slider* (permite alterar os valores das variáveis globais dentro de um determinado intervalo sem editar o código) ou *switch* (atribui um valor a uma variável do tipo booleano) disponíveis na interface da simulação.

Parâmetro	Tipo	Significado
Pacientes	<i>slider</i>	Define a quantidade de utentes que vai ser usada na simulação
Grave	<i>slider</i>	Indica a probabilidade de um utente alterar o seu estado para grave
Curado	<i>slider</i>	Controla a probabilidade de um utente ficar curado
Específico	<i>slider</i>	Indica a probabilidade de um utente ser um caso específico
Organizado	<i>switch</i>	Controla se o modelo a simular é ou não organizado

Tabela 6.1: Parâmetros utilizados no protótipo da simulação.

O parâmetro ‘Organizado’ controla a existência de um nível de organização no SEH: numa versão mais simples os utentes deslocam-se para as entidades hospitalares de forma desorganizada, sem informação sobre o seu estado de saúde e não existe encaminhamento de utentes entre entidades hospitalares. No caso de existir um nível de organização no SEH os utentes são direccionados para as entidades que podem dar uma resposta mais adequada à sua situação de saúde.

Na plataforma de simulação apresentam-se os dados ao utilizador através de gráficos (permitem visualizar de que forma as variáveis em estudo estão relacionadas, por exemplo como é que o estado dos utentes evolui com o tempo), monitores (permitem ver os valores das variáveis em cada instante) e pela exportação dos resultados da simulação para um ficheiro .txt que o utilizador depois pode editar.

6.6.2 Dados avaliados

As simulações foram executadas com o objectivo essencial de comparar o comportamento do sistema nos dois modelos de organização implementados (modelo com organização versus modelo sem organização).

Os dados resultantes da simulação que se utilizam para comparar os modelos são:

- Uteses mortos/Uteses Curados – no final da simulação obtém-se o total de utentes que morreram no decurso da simulação e o total dos que ficaram curados;
- Número de utentes que optaram por contactar o posto de atendimento (disponível no modelo organizado) em vez de se deslocarem de imediato ao hospital;
- Número de utentes que foram curados nas diversas entidades de saúde, usado para avaliar a distribuição dos utentes pelos hospitais e centro médico.
- Tempo que demorou a curar metade dos utentes de cada simulação.

Uma questão fulcral para calibrar o parâmetro ‘utente’ foi determinar a quantidade de utentes que seriam utilizados na simulação. Para isso aplicou-se a fórmula em [Krejcie & Morgan, 1970], com um grau de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, resultando uma amostra com 384 utentes.

$$n = (\chi^2 * N * P * (1-P)) / ((ME^2 * (N-1)) + (\chi^2 * P * (1-P)))$$

n = tamanho da amostra

χ^2 = valor crítico para o grau de confiança pretendido (6,6349)

N = população (6 milhões de habitantes)

P = proporção populacional

ME = margem de erro (neste caso, 5%)

Figura 6.6: Fórmula Krejcie & Morgan, 1970.

Com base nesta amostra, as simulações foram executadas para 5000, 10000, 25000 e 50000 utentes. Assim, assumindo que Luanda tem cerca de 6 milhões de habitantes, no cenário mais extremo foi considerado que cerca de 8 pessoas em cada 1000 procuram uma entidade de saúde num determinado momento e num contexto de emergência médica.

Para analisar o impacto do tipo de modelo de organização na eficácia e eficiência da resposta em termos de sistema hospitalar, para cada população fez-se variar o tipo de modelo (Organizado *ON* e Organizado *OFF*) e a probabilidade do estado do doente ser grave. Desta forma estuda-se a influência da quantidade e da gravidade do estado dos utentes.

6.6.3 Estudo de relação entre o SEH organizado e a mortalidade dos utentes em geral

Em todas as simulações executadas verificou-se que, considerando cada população, mantendo os mesmos parâmetros de simulação e alterando apenas o tipo de modelo, a percentagem de utentes curados é sempre superior quando o SEH é organizado, ou seja, em termos de eficácia é vantajoso o uso de um modelo organizado.

Em execuções com probabilidades na ordem dos 10% de um utente ficar num estado ‘Específico’, a diferença de mortalidade dos utentes entre o modelo com organização e o modelo sem organização é mais significativa à medida que o número de utentes aumenta. Neste caso, em termos médios, a percentagem de utentes curados no modelo de simulação do SEHO é de cerca 26 pontos

percentuais mais elevada do que no modelo do SEH sem organização. Esta diferença é de 19,3 pontos percentuais para a simulação de 5000 utentes; 22,6 para 10000 utentes; 26,8 para 25000 utentes e 36,1 pontos percentuais para 50000 utentes.

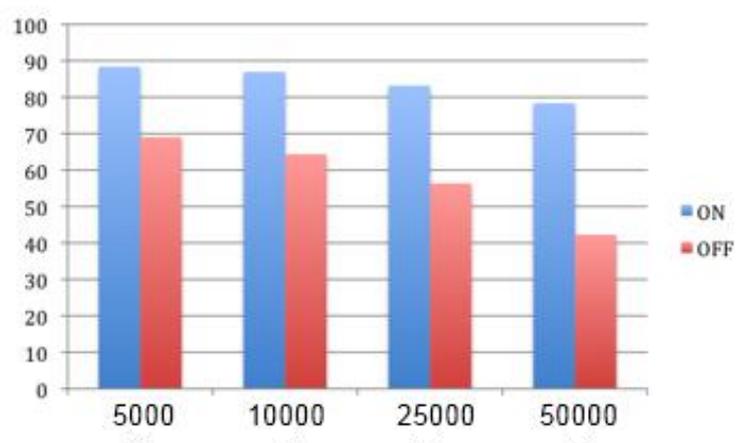


Figura 6.7: Utentes curados nas simulações SEHO (ON) vs SEH (OFF).

A tendência decrescente na percentagem de utentes curados à medida que a quantidade destes atinge o limite superior testado na simulação sugere que o desempenho do sistema degrada-se, mesmo com utilização de um modelo organizado. Uma vez que os recursos disponíveis para tratar os utentes são limitados, a optimização do uso desses recursos obtida com o modelo organizado terá um patamar para além do qual é difícil continuar a conseguir aumentar significativamente a taxa de cura dos utentes. Poderá extrapolar-se que, supondo uma ocorrência extrema, se o afluxo for de tal ordem elevado, mesmo que o modelo seja organizado, não se consegue dar uma resposta eficaz à procura dos utentes. No entanto, as simulações executadas levam a crer que a utilização de um sistema organizado será sempre benéfica quando comparada com um sistema desorganizado, mesmo num cenário de catástrofe em que existiria uma quantidade excepcionalmente elevada de utentes a acorrer aos serviços de emergência médica.

Por outro lado, quando existem menos doentes a recorrer ao sistema de emergência hospitalar, o total de utentes curados para o SEHO é semelhante. Nestes casos, não existe uma pressão tão notória sobre

o sistema, os utentes são tratados com mais eficácia. Assim, em relação a este ponto, conclui-se que o SEH organizado contribui para a diminuição da mortalidade dos utentes em geral.

6.6.4 Estudo de relação entre o SEH organizado e a mortalidade dos utentes quando a probabilidade de o utente ficar no estado ‘Específico’ é mais elevada

Para analisar este caso mantiveram-se parâmetros 'Grave' e 'Curado' estáticos e fez-se variar a probabilidade do doente ficar 'Específico', a quantidade de utentes e o modelo ser ou não organizado.

No caso da existência de 5000 e 10000 utentes a procurar o SEH, o modelo com organização tem em média mais 15 pontos percentuais de utentes num estado específico curados do que o modelo sem organização. Esta vantagem não era tão notória na simulação mencionada no ponto anterior, onde no cenário testado existiam 10% de probabilidade de um utente ficar num estado específico. No entanto, observou-se uma degradação nos resultados quando se aumenta a quantidade de utentes na simulação: a diferença que existia entre a percentagem de doentes curados no caso de haver 5000 e 10000 utentes passou de 15 pontos percentuais para 13 e 10, respectivamente para 25000 e 50000 utentes.

Fazendo a análise deste cenário, verifica-se que a utilização de um modelo organizado traz benefícios (inclusivamente quando existem poucos utentes a procurar o SEH). Este facto é importante em termos de aplicabilidade, porque em Angola existe uma taxa de utentes com um estado ‘Específico’ maior do que a que existe em países ocidentais. O encaminhamento eficaz de utentes neste estado contribuiria para reduzir a mortalidade entre faixas da população como mulheres grávidas, crianças ou utentes com doenças infecto-contagiosas graves. No entanto, a quantidade de hospitais da especialidade na simulação (quatro) prejudicou o desempenho do modelo organizado nestas simulações, tendo em conta que se testou um cenário extremo em relação à quantidade de utentes num estado

específico (testado para a probabilidade de 40% de utentes ficarem nesse estado).

Assim, o SEH organizado contribui para a diminuição da mortalidade quando a probabilidade de o utente ficar num estado 'Específico' é maior.

6.6.5 Influência do tipo de modelo sobre o tempo que decorre até que os utentes fiquem no estado 'Curado'

Para analisar a influência da existência de organização no SEH sobre o tempo que demora a curar os utentes, usou-se como comparação o tempo necessário para curar 50% dos utentes que procuram o sistema de emergência hospitalar.

Qualquer cenário simulado revelou que num SEH sem organização o tempo necessário para curar essa percentagem de utentes é superior e, no limite máximo da quantidade de utentes, é o dobro do tempo gasto num SEH com organização.

Os gráficos da figura 6.8, resultado de uma simulação com 5000 utentes, permitem observar que a curva da evolução da quantidade de utentes curados (linha azul) é mais acentuada para a simulação do SEH organizado. Nesta simulação temos ainda como parâmetros de entrada 0,5 de probabilidade do paciente alterar o seu estado de gravidade, 0,5 de probabilidade de ficar curado e por fim 0,2 de ser um doente com uma patologia específica. Entre ambos os gráficos o único parâmetro que se alterou é o modelo ser ou não organizado.

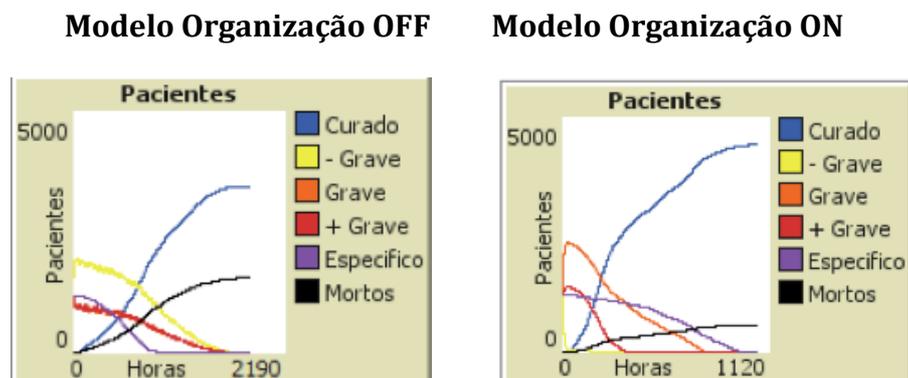


Figura 6.8: Gráficos da evolução do estado dos pacientes nos dois modelos.

Nesta figura podemos observar o seguinte: os pacientes no modelo com organização atingem o estado “Curado” no intervalo mais reduzido de tempo do que no modelo sem organização.

Estes resultados vão de encontro ao esperado, ou seja, o tipo de modelo do SEH com organização contribui para a diminuição do tempo de tratamento dos utentes. O centro de atendimento e de encaminhamento existente no modelo organizado direcciona os utentes aos hospitais mais adequados ao seu estado, reduzindo os tempos de espera dos utentes.

6.6.6 Distribuição dos utentes pelos hospitais e quantidade de utentes curados em cada uma das entidades

Existem várias diferenças a nível da distribuição dos utentes quando são comparados os modelos com e sem organização:

1. Quando o SEH é organizado, a quantidade de utentes que usam os hospitais é inferior em cerca de 33%. O encaminhamento efectuado pelo posto de atendimento que, caso o estado do utente não seja grave, o direcciona para o centro médico é o factor que faz com que o recurso aos hospitais seja menor. Isto não acontece no modelo do SEH sem organização, em que os utentes vão ao hospital mesmo em situações de menor gravidade.
2. No SEH sem organização, a quantidade de utentes curados no hospital público vs. hospital privado é semelhante. No modelo com organização existe uma quantidade maior de utentes curados no hospital público em detrimento do privado, o que revela uma preferência por aquele.
3. O modelo organizado favorece o encaminhamento dos utentes num estado específico para o hospital da especialidade.
4. Quando os utentes estão num modelo SEH organizado, uma média de 90% dos mesmos recorre ao centro de atendimento e encaminhamento. Verificou-se também que à medida que

aumenta a quantidade de utentes que usa o CAE, também aumenta a percentagem de utentes curados.

6.7 Conclusão

A existência de uma rede deficitária em termos de cuidados de saúde, de recursos humanos e materiais abaixo da quantidade necessária e uma afluência elevada às urgências de uma forma geral, provocam uma demora no atendimento. A qualidade do atendimento degrada-se, as condições de trabalho para os profissionais da área da saúde pioram, o encaminhamento para outros serviços mais adequados para tratar o utente é comprometido e a mortalidade aumenta.

Os resultados das simulações indicam que será uma mais-valia a implementação de um modelo de SEH organizado, onde exista um módulo para aconselhamento e encaminhamento de utentes para as entidades hospitalares com serviços adequados à situação do utente e com uma afluência de utentes que não comprometa o atendimento e onde as entidades hospitalares disponham de um sistema para comunicar entre si, de forma a conhecerem as condições e capacidade de atendimento dos outros hospitais.

Este sistema é vantajoso não só para otimizar os recursos e os resultados a nível do sistema hospitalar, mas também é útil aos utentes, uma vez que, em virtude da melhor organização introduzida, diminui a mortalidade geral dos utentes que se dirigem ao SEH. Concluiu-se que este modelo organizado é útil mesmo quando o SEH não tem muita afluência de utentes, em virtude de ser possível dar uma resposta mais rápida às necessidades dos utentes, particularmente em termos de encaminhamento para a entidade de saúde adequada.

As simulações executadas apontam para que um SEH com organização diminui o tempo que o sistema demora a curar o utente, desta forma reduzindo a permanência do mesmo no hospital, possibilitando a libertação dos recursos que lhe estavam afectos e reduzindo também o desconforto do próprio utente. O encaminhamento dos utentes contribui ainda para tornar mais eficaz a distribuição dos mesmos pelas várias entidades hospitalares.

7. Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas

“Conhecimento é a capacidade de actuar num contexto”.
Karl-Erik Sveiby

O actual cenário na área de saúde em Angola é um campo fértil para a utilização de aplicações que recorrem ao paradigma de sistemas multi-agente. A característica distribuída de recursos tanto materiais como humanos e dos processos próprios das entidades prestadoras de serviços de saúde, a heterogeneidade de recursos e a natureza cooperativa dos processos, a fácil decomposição das actividades, a necessidade de coordenação numa ou entre entidades prestadoras de cuidados de saúde, são factores que nos levam a apresentar um protótipo baseado nos conceitos da inteligência artificial. Este protótipo destina-se a organizar e agilizar o acesso às emergências médicas hospitalares.

7.1 Processo de negócio actual

De um modo geral, as unidades hospitalares do sector público angolano têm o mesmo processo de negócio relativamente ao atendimento das emergências médicas. O paciente dirige-se ao hospital, os funcionários orientam o utente em função dos sintomas que o mesmo descrever ou apresentar (a orientação em geral implica dirigi-lo a um serviço específico fornecido pela unidade

hospitalar ou a um hospital especializado), realiza um registo preliminar (em situação de emergência primeiro é atendido, somente depois é feito o registo) e regista o final de processo.

Na figura 7.1 descreve-se o fluxo de trabalho mais utilizado para realizar o atendimento nas actuais emergências médicas. Ressalva-se que habitualmente o encaminhamento depende do funcionário que recebe o paciente. O funcionário, regra geral, não tem qualificação especializada para fazer a selecção (triagem) dos pacientes. Não existe um protocolo implementado, trabalha-se de uma maneira ‘informal’.

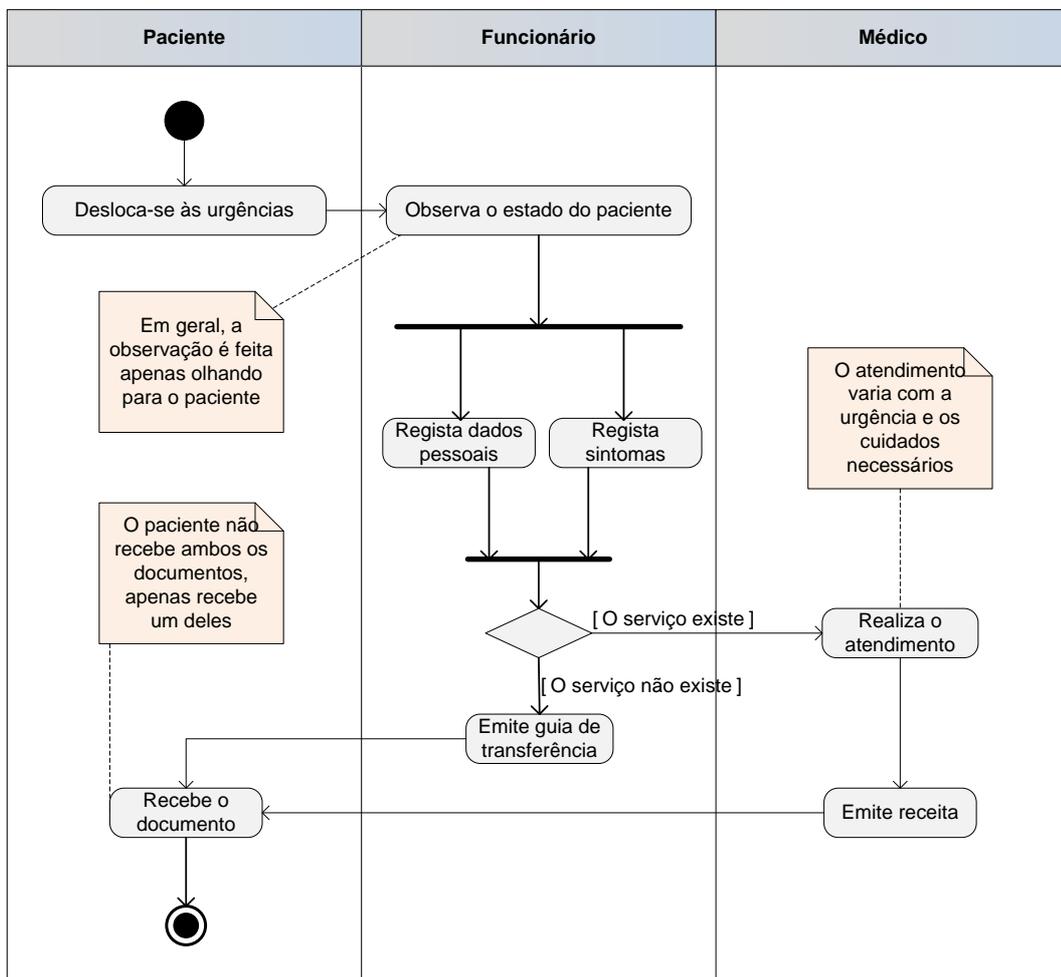


Figura 7.1: Diagrama de actividades do processo de negócio actual.

Os processos administrativos aplicados nas emergências não estão informatizados, na generalidade dos hospitais do Serviço Nacional de Saúde.

7.2 Requisitos do SIEMA

O acesso às emergências médicas é actualmente feito de uma maneira caótica e imprevisível, o que prejudica quer os próprios utentes, quer os profissionais da área da saúde e acentua a desadequação dos recursos materiais disponíveis para prestar os cuidados de emergência. O levantamento efectuado para a análise dos requisitos que o Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas deve oferecer permitiu concluir que as funcionalidades que devem ser implementadas são as que abaixo se apresentam:

- Disponibilizar uma interface de fácil acesso e utilização para os utentes do SIEMA;
- Aceder aos serviços por telefone (*call center*) e/ou por internet (*net center*);
- Registrar os utentes com os seus dados pessoais;
- Inserir os factores de riscos do utente;
- Permitir que os utentes escolham os sintomas que correspondem ao seu estado de saúde;
- Fazer a triagem superficial dos utentes classificando-os com um dos estados: muito urgente, urgente e pouco urgente;
- Servir de ligação entre as várias entidades hospitalares afectas ao serviço nacional de saúde angolano;
- Seleccionar a entidade prestadora de cuidados de saúde mais indicado para utente, mediante o seu estado de saúde, a sua patologia, a sua localização e o congestionamento da entidade de saúde;
- Permitir o encaminhamento de utentes à entidade prestadora de cuidados de saúde adequada;
- Disponibilizar informações de carácter geral sobre as entidades hospitalares;
- Disponibilizar informações detalhadas e estatísticas sobre encaminhamentos e congestionamento dos serviços das urgências hospitalares.

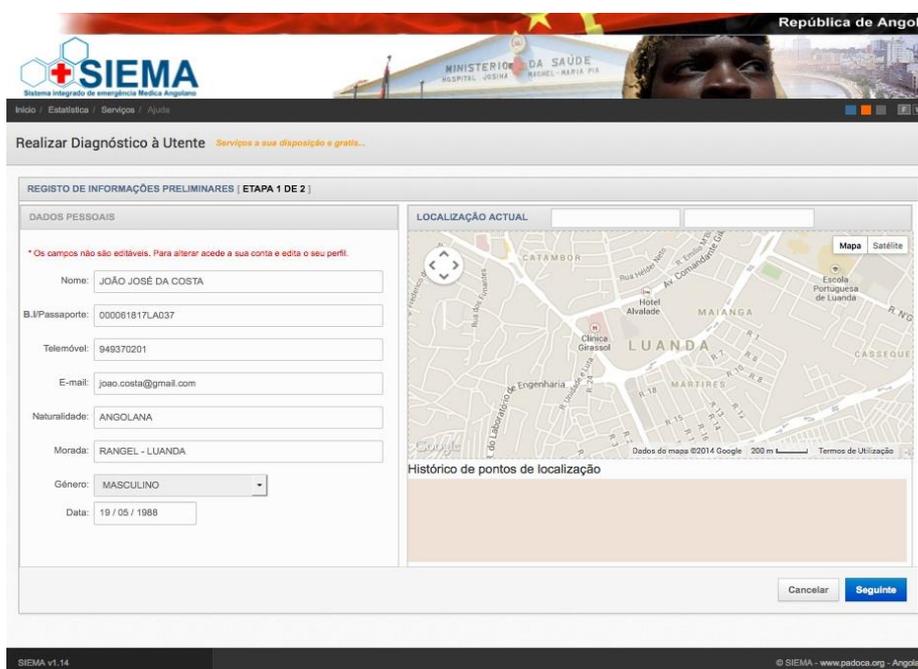
7.3 Análise do SIEMA

Implementou-se o protótipo de um sistema de apoio à gestão de emergências médicas para o sistema nacional da saúde em Angola (SIEMA). A análise do SIEMA consistiu na descrição do problema e no planeamento da solução proposta, recorrendo às técnicas e diagramas que elucidam o objectivo pretendido. Utilizou-se a metodologia UML.

7.3.1 Descrição do protótipo SIEMA

Este protótipo destina-se a disponibilizar ajuda aos utentes na busca da entidade prestadora de cuidados de saúde de emergência (hospitais gerais, hospitais de especialidade e centros médicos) mais adequada para responder às suas necessidades.

O referido sistema faculta o encaminhamento dos utentes para os serviços de urgências considerando os critérios clínicos apresentados, a sua localização, os serviços disponibilizados e o congestionamento de cada unidade hospitalar.



The screenshot displays the SIEMA web interface. At the top, there is a header with the SIEMA logo and the text 'República de Angola'. Below the header, there is a navigation bar with links for 'Início', 'Estatística', 'Serviços', and 'Ajuda'. The main content area is titled 'Realizar Diagnóstico à Utente' and contains a form for 'REGISTO DE INFORMAÇÕES PRELIMINARES [ETAPA 1 DE 2]'. The form is divided into two sections: 'DADOS PESSOAIS' and 'LOCALIZAÇÃO ACTUAL'. The 'DADOS PESSOAIS' section includes fields for Name (JOÃO JOSÉ DA COSTA), Passport (000061817LA037), Telephone (949370201), Email (joao.costa@gmail.com), Nationality (ANGOLANA), Address (RANGEL - LUANDA), Gender (MASCULINO), and Date (19 / 05 / 1988). The 'LOCALIZAÇÃO ACTUAL' section features a map of Luanda, Angola, with a red pin indicating the current location. Below the map is a section for 'Histórico de pontos de localização'. At the bottom of the form, there are 'Cancelar' and 'Seguinte' buttons. The footer of the page includes 'SIEMA v1.14' and '© SIEMA - www.padoce.org - Angola'.

Figura 7.2: Interface inicial do SIEMA.

O utente pode usufruir em qualquer momento os serviços disponibilizados pelo sistema contactando, via telefone (*call center*)

ou pela internet (*net center*), contribuindo desta forma para um acesso mais organizado e eficaz às urgências hospitalares.

Por outro lado, o sistema em causa disponibiliza informações quer de carácter geral sobre as entidades prestadoras de cuidados de saúde, quer informações mais específicas referentes às estatísticas dos encaminhamentos efectuados.

A página inicial do protótipo (figura 7.2) tem vários menus que dão acesso a informação de carácter genérico sobre serviços de saúde em Angola, e a uma área de *login* a partir da qual os utilizadores têm acesso a funcionalidades específicas, consoante o seu papel.

Os utentes podem registar-se no sistema e assim inserir e modificar informação pessoal, solicitar triagens, consultar o histórico de triagens, encaminhamentos, entre outras funcionalidades. Os operadores podem solicitar triagens em nome dos utentes, mas não podem visualizar a informação confidencial (médica) que os utentes têm no sistema. Por outro lado, os prestadores também podem solicitar triagens, mas têm acesso a toda a informação médica que os utentes têm no SIEMA, a inserir e actualizar informação sobre os serviços médicos e extrair relatórios para auxiliar nas actividades de gestão e organização das emergências.

The screenshot displays the SIEMA web application interface. At the top, there is a header with the logo of the República de Angola and the SIEMA logo (Sistema Integrado de emergência Médica Angolano). Below the header, the user's personal data is shown in a form:

Dados Pessoais	
Nome Completo:	João Manuel Camato
E-mail:	joao.camato@siema.com.ao
Telefone:	+244928805560
Idade:	25
Sexo:	Masculino
Município:	Cazenga
Morada:	Kilamba kiaki \ Bairro Palanca

Below the personal data, the '2ª Etapa | Sintomas' section is visible, where the user can select symptoms. The symptoms are listed in a grid with checkboxes:

2ª Etapa Sintomas (*escolha o(s) sintoma(s) adequado(s))					
paragem cardíaca	<input type="checkbox"/>	estado mental alterado	<input type="checkbox"/>	dór pélvica aguda	<input type="checkbox"/>
paragem pulmonar	<input type="checkbox"/>	dificuldades respiratórias	<input type="checkbox"/>	hemorragia vaginal	<input type="checkbox"/>
inconsciente	<input type="checkbox"/>	objectos estranhos nos olhos	<input type="checkbox"/>	dor de cabeça	<input type="checkbox"/>
desmaio	<input type="checkbox"/>	náuseas	<input type="checkbox"/>	dor de ouvidos	<input type="checkbox"/>
convulsão	<input type="checkbox"/>	vómitos	<input type="checkbox"/>	dor nas costas	<input type="checkbox"/>
ferimentos	<input type="checkbox"/>	hipertensão	<input type="checkbox"/>	dor de garganta	<input type="checkbox"/>
traumas	<input type="checkbox"/>	hipotensão	<input type="checkbox"/>	diarreia	<input type="checkbox"/>
queimaduras	<input type="checkbox"/>	taquicardia	<input type="checkbox"/>	desidratação	<input type="checkbox"/>
dores no peito	<input type="checkbox"/>	febre	<input type="checkbox"/>	crise de asma	<input type="checkbox"/>
dores viscerais	<input type="checkbox"/>	dor no peito	<input type="checkbox"/>	choque alérgico	<input type="checkbox"/>
falta de ar	<input type="checkbox"/>	dor severa	<input type="checkbox"/>	calafrios	<input type="checkbox"/>
dores agudas	<input type="checkbox"/>	dor renal	<input type="checkbox"/>		
dor abdominal	<input type="checkbox"/>	enxaquecas	<input type="checkbox"/>		

At the bottom right of the form, there are two buttons: 'Cancelar' and 'Seguinte'.

Figura 7.3: Formulário do SIEMA onde utente escolhe os sintomas.

Para solicitar uma triagem, os utilizadores devem registar-se no SIEMA e inserir dados pessoais, a sua localização actual,

seleccionar factores de risco, tais como ‘fumador’, ‘gravidez’, ‘diabético’, disponíveis na interface e seguidamente indicar os sintomas apresentados (figura 7.3).

Utiliza-se a GoogleMapsAPI (figura 7.4) para marcar a localização do utente no mapa de Luanda, permitindo calcular a distância até ao hospital mais próximo.

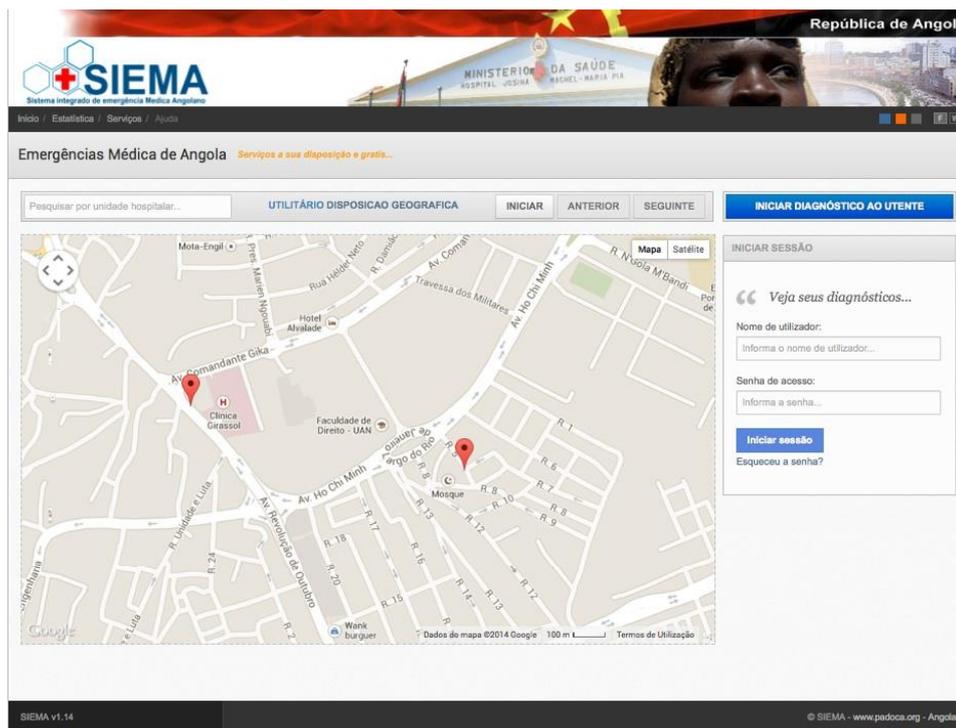


Figura 7.4: Interface onde se selecciona a localização do utente.

Com base em dados pessoais como idade e sexo, factores de risco e sintomas indicados pelo o utente, é feita uma pré-triagem que o classifica com um dos três estados possíveis: muito urgente, urgente e pouco urgente e indica um pré-diagnóstico. O estado do utente, a sua localização actual, as filas de espera nos hospitais e os serviços disponíveis vão determinar a entidade hospitalar para onde o utente será direccionado. A entidade hospitalar recebe a informação pessoal e os dados da triagem relativos aos utentes que lhe são encaminhados.

Em cada entidade hospitalar, as filas de espera são tratadas separadamente, considerando o número de utentes presentes nas

filas de espera especificamente dos três estados possíveis, isto é, para um utente no estado E_i , tal que $i \in \{1,2,3\}$, sendo que:

- E_1 - total de utentes em fila de espera com classificação muito urgente.
- E_2 - total de utentes em fila de espera com classificação urgente.
- E_3 - total de utentes em fila de espera com classificação pouco urgente

Se E_i - número total de utentes em fila de espera num determinado estado i Então utentes em lista de espera que contam para encaminhamento igual Sum de utentes de E_1 até E_i

Para actualizar a fila de espera para cada estado e cada hospital, procede-se da seguinte forma:

- Acrescenta-se o utente com o estado encaminhado para o hospital ao fim de fila de espera. O SIEMA adiciona o utente à fila de espera específica de um hospital quando o encaminha para essa instituição.
- Quando o utente é atendido no hospital, sendo direccionado para um serviço, um funcionário do hospital retira o utente de fila de espera.

Assim a gestão da fila de espera é, nas inserções, feita de forma automática, bem como a reordenação das filas, mas implica que pessoal médico e/ou administrativo retire os utentes das filas.

A ordem de preferência para seleccionar uma determinada entidade hospitalar é a seguinte:

- Identificar o hospital com os serviços adequados para tratar o utente;
- Contabilizar a fila de espera em cada um destes hospitais;
- Validar qual o hospital mais perto com menor fila de espera.

Não basta localizar a unidade hospitalar mais próxima que atende as possíveis patologias do paciente, também é necessário conhecer a

disponibilidade desses serviços no momento requerido, conhecer o tempo levado para chegar até ao destino, contando com as condições de tráfego de acordo a realidade angolana, isto é, a qualidade das vias, o grau de congestionamento habitual no determinado dia e período; conhecer a quantidade de pessoas encontradas na fila de espera do mesmo atendimento; a duração média de atendimento dos pacientes em cada unidade hospitalar.

Estes factores relatados no parágrafo anterior influenciam directamente a eficiência do SIEMA na indicação da unidade hospitalar mais promissora. Logo é necessário uma análise profunda a fim de definir critérios de selecção de unidades hospitalares em que o paciente possa ser atendido o mais rápido possível.

Para atender o factor condições de tráfego utilizamos para cada unidade hospitalar o famoso problema do Caixeiro Viajante onde os custos para cada troço foram gerados pelas características do mesmo troço num determinado período (figura 7.5).

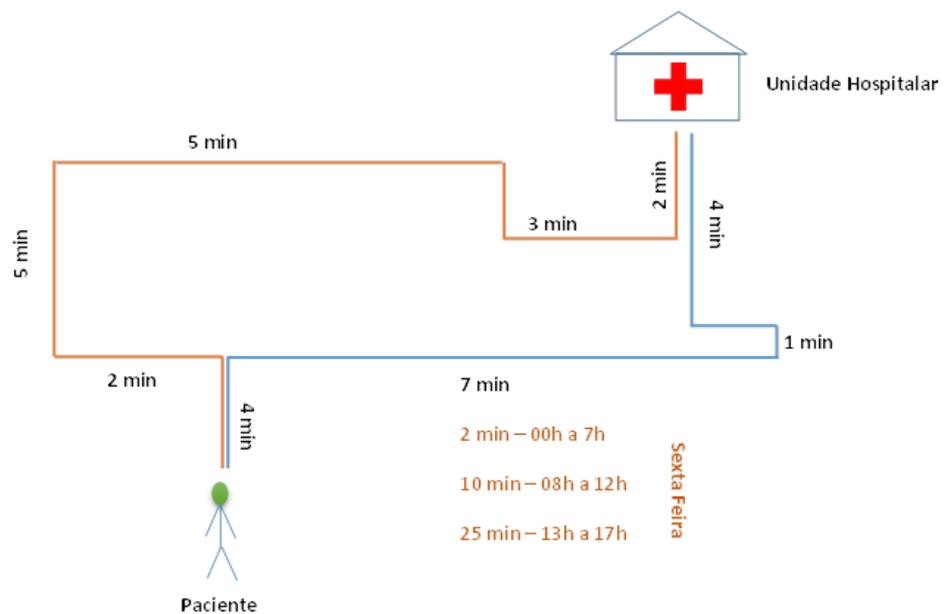


Figura 7.5: Dois caminhos com custos diferentes para uma entidade hospitalar.

7.3.2 Casos de uso

Os casos de uso são um dos diagramas mais relevantes utilizados para apresentar uma visão externa deste protótipo, capturando padrões de comportamento e os usos possíveis do sistema. Os actores representam as entidades que interagem com o sistema e os casos de uso descrevem as funcionalidades do sistema.

A figura 7.6 mostra as principais interacções dos utilizadores com o SIEMA.

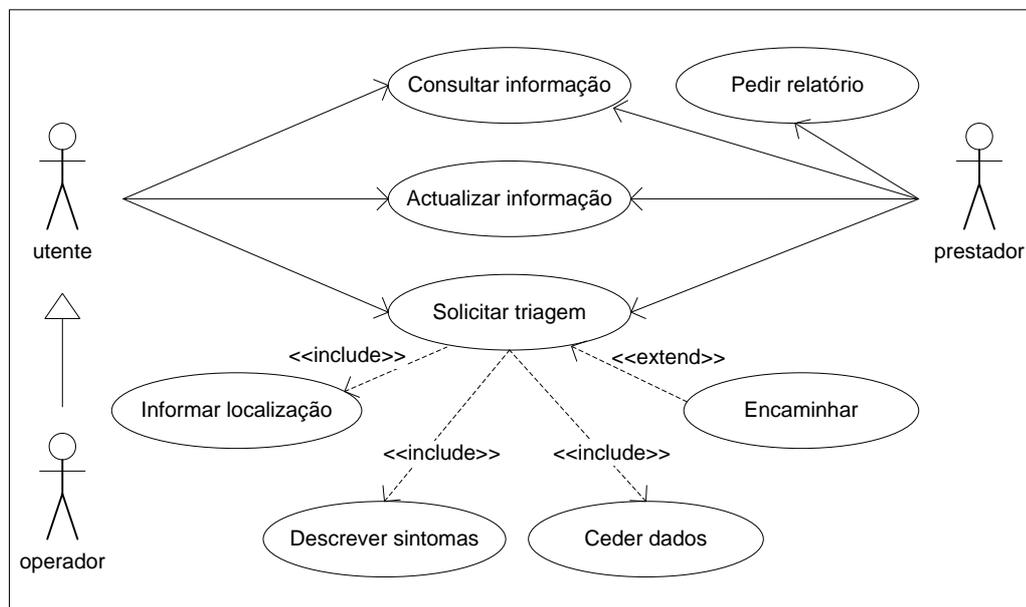


Figura 7.6: Diagrama com os principais casos de uso.

Descrição dos actores

- **Utente:** indivíduo que solicita os serviços do Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas com objectivo de obter informações de carácter geral, aconselhamento ou encaminhamento hospitalar. Sobre esse actor interessa saber os dados pessoais (nome, idade, localização actual, local de residência, forma de contacto) e quais os sintomas que apresenta.

- **Operador:** é o indivíduo que insere no SIEMA a informação prestada pelo utente, quer via telefone, isto é, centro de atendimento, quer presencialmente, ou seja, na entidade prestadora de cuidados de saúde por um funcionário indicado para o efeito.
- **Prestador:** No SIEMA esta entidade pode ser um médico ou enfermeiro de um hospital público, um hospital de especialidade ou um centro médico.

Descrição dos casos de uso

Na fase de análise do SIEMA efectuou-se um estudo exaustivo dos casos de uso que correspondem a funcionalidades que o sistema deve apresentar. Omitindo os casos mais triviais a nível de implementação, faz-se uma breve descrição dos casos de uso mais relevantes que coincidem com os requisitos distintivos e particulares deste protótipo.

- **Consultar informação:** Os utilizadores solicitam ao SIEMA informação relativa às unidades hospitalares e aos serviços que prestam e também informação dos utentes.
- **Actualizar informação:** Os utilizadores inserem/actualizam informação pessoal dos utentes, tais como nome, idade, morada, etc...
- **Solicitar triagem:** os utilizadores solicitam ao sistema que faça uma pré-triagem ao utente, que determinará se este é encaminhado ou não para uma entidade de saúde com base nos sintomas apresentados e em informação pessoal, nomeadamente idade e factores de risco do utente.
- **Informar localização:** Os utilizadores inserem a localização actual do utente, no momento em que é solicitada a triagem. No caso deste aceder o SIEMA via dispositivos móveis tais como *Smartphones*, *Tablets* ou qualquer outro dispositivo com

GPS, o sistema auxilia automaticamente na localização actual do utente.

- **Ceder dados:** O utente insere as suas informações pessoais. Como mais relevantes podem apontar-se nome, idade, sexo, localização actual, factores de risco (fumador, gravidez, ou algumas doenças tais como diabetes, asma, SIDA).
- **Descrever sintomas:** O utente selecciona os sintomas que apresenta de entre os que estão disponíveis na interface. Adicionalmente o utente deverá indicar para alguns sintomas tais como dores e queimaduras, parâmetros necessários para aferir a gravidade do estado do utente.
- **Encaminhar:** Após a triagem, o utente será encaminhado para a unidade hospitalar mais adequada para o atender considerando a localização do utente, os cuidados que o mesmo necessita, o fluxo de pacientes na entidade hospitalar, os serviços disponibilizados na referida entidade.
- **Pedir relatório:** o prestador de serviços de saúde solicita relatórios essencialmente destinados a auxiliar as tarefas de gestão. Estes relatórios têm informações sobre a situação dos utentes na fila de espera para o atendimento, triagens efectuadas, encaminhamentos diários.

7.3.3 Modelo conceptual de classes

O diagrama de classes da figura 7.7 descreve os requisitos e reflecte o que foi analisado na implementação específica da base de dados do SIEMA evidenciando a estrutura estática e inter-relações entre entidades (classes), os atributos com o respectivo nome, tipo de dados e visibilidade, as suas possíveis limitações no que tange às cardinalidades, bem como outros conceitos das mesmas. Assim sendo, foram modeladas as classes *hospital*, *serviço*, *doença*, *sintoma*, *diagnostico*, entre outras.

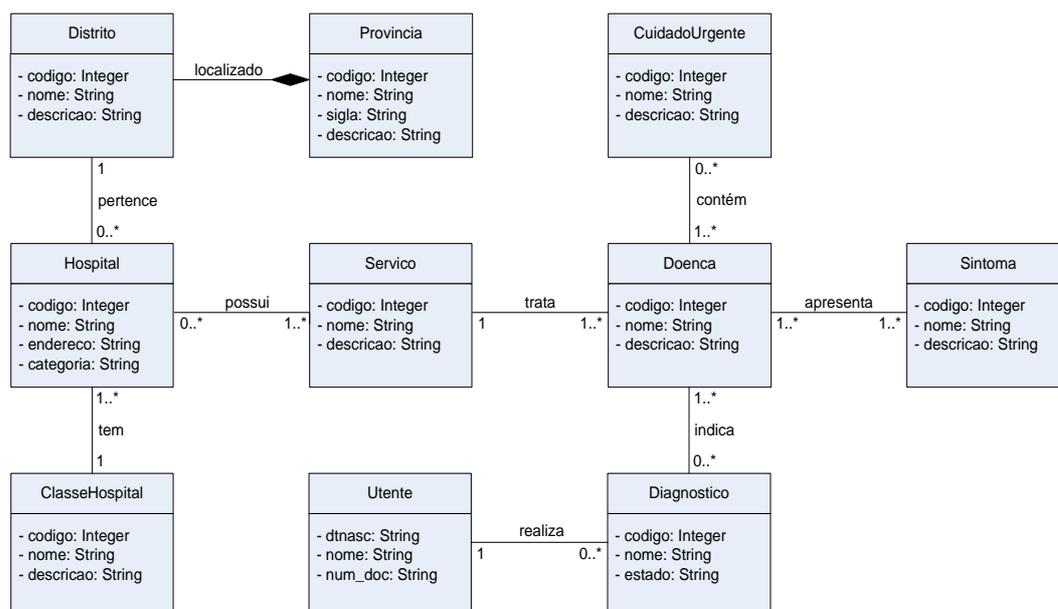


Figura 7.7: Diagrama de classes do SIEMA.

7.3.4 Diagrama de Objectos

O diagrama de objectos da figura 7.8 concretiza (instancia) o diagrama de classes ilustrado na figura 7.7 tendo conta as classes principais do SIEMA, omitindo os nomes dos objectos e alguns conceitos dos mesmos simplificando assim a notação.

A figura 7.8 ilustra a simulação de um caso concreto da *Província de Luanda* que contém vários distritos. Para o *distrito da Maianga* temos diversas entidades hospitalares públicas e privadas, como a *Clínica Girassol* e o *Hospital Maria Pia*, que estão compostos por vários serviços médicos, de entre eles o *serviço de ginecologia*, que trata de doenças ginecológicas como a *inflamação pélvica* e o *serviço de clínica geral* que trata de doenças genéricas como a *febre tifóide* e a *malária*.

As doenças são identificadas pelos seus respectivos sintomas característicos (no caso de malária os principais sintomas são a *dor de cabeça*, *fraqueza* e *diarreia*). Quando um paciente solicita um *diagnóstico* indicando estes sintomas, o mesmo associa-se a uma possível doença através dos sintomas apresentados no diagnóstico, e

a doença associada ao serviço facilita a identificação da entidade hospitalar adequada através de outros critérios definidos pelo sistema, tais como afluência às urgências, localização do utente, a hora e o dia da semana.

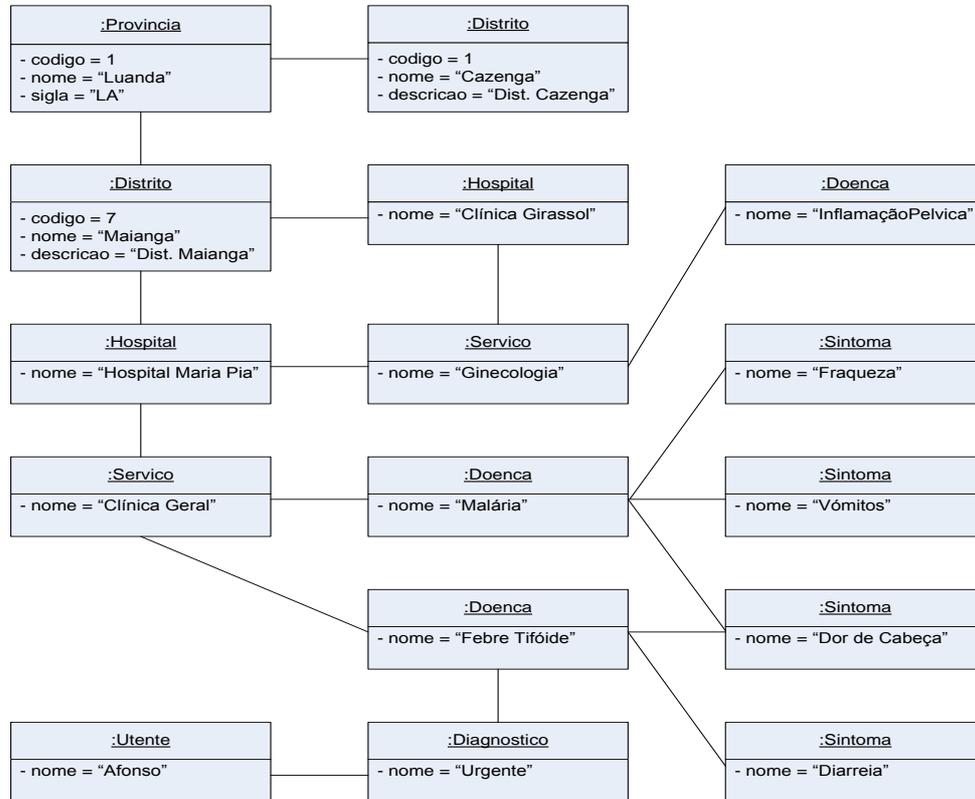


Figura 7.8: Diagrama de objectos instanciando o diagrama de classes do SIEMA.

7.3.5 Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência abaixo foi desenhado com base em diagramas de casos de uso e diagramas de classes/objectos do SIEMA.

O actor utente é o dos casos de uso e os objectos Diagnostico, utente, sintoma, doença, serviço e entidade hospitalar vêm do diagrama de objectos. O referido diagrama de sequência revela a ordem pela qual alguns eventos acontecem no SIEMA. Os objectos reflectem as instâncias das classes e as linhas representam o tempo de vida dos objectos. As ligações entre objectos representam a ocorrência de eventos.

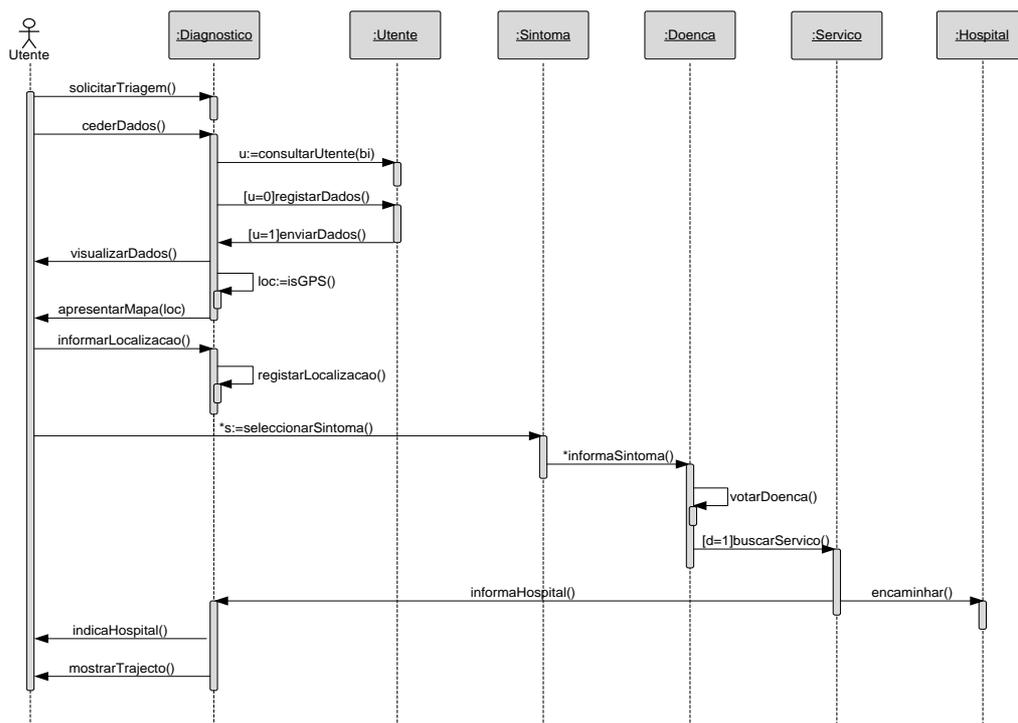


Figura 7.9: Diagrama de Sequência para o caso de uso solicitar triagem.

A figura 7.9 descreve a sequência de eventos, com os respectivos objectos envolvidos, que ocorre quando um utente inicia o processo para solicitar cuidados de urgência com o objectivo de ser encaminhado para uma entidade hospitalar. O utente solicita uma triagem, para isso de seguida cede os dados pessoais no interface do sistema representado nesta figura pelo objecto *Diagnostico*. É feita uma consulta sobre a existência (ou não) deste utente. Se não existirem, os dados são introduzidos no sistema e são então visualizados pelo utente. É determinada a localização do utente, que a visualiza no mapa de Luanda. Seguidamente o utente selecciona um ou mais sintomas, recebidos pelo objecto *Sintoma* e enviados para o objecto *Doenca* onde se chega a um diagnóstico e são estabelecidos quais os serviços necessários para tratar o utente. O objecto *Servico* encaminha o utente para uma determinada entidade hospitalar com as condições adequadas e informa o seu nome ao objecto *Diagnostico*, calcula o trajecto e informa o utente de ambas as informações.

7.3.6 Diagrama de Estados

Para representar o comportamento interno dos objectos do SIEMA, construíram-se diagramas de estado, que especificam a dinâmica relevante das classes implementadas, onde os estados intermédios são representados por rectângulos de cantos arredondados e os eventos que desencadeiam as transições entre estados por linhas entre os estados. Na figura 7.10 ilustra-se um cenário onde o processo de atendimento nas urgências é inicializado após o utente ter sido direccionado para a entidade hospitalar pelo módulo de encaminhamento.

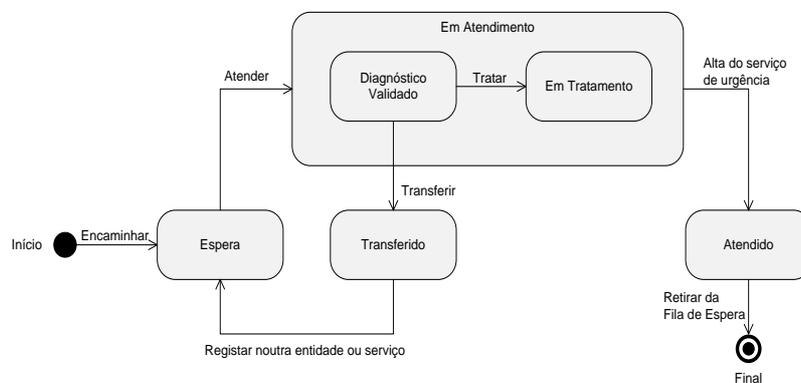


Figura 7.10: Diagrama de Estados para o atendimento do paciente no SIEMA.

O SIEMA regista o paciente *em espera* na fila dos serviços da entidade hospitalar. O primeiro sub-estado do estado *em atendimento* é *diagnóstico validado*, em que o paciente é avaliado por um médico que decide se o serviço é adequado para tratar o paciente. Caso a situação do utente não seja adequada para os serviços prestados na entidade hospitalar, ou até mesmo esteja fora das capacidades ou especializações da mesma, então o paciente será encaminhado através do sistema para uma outra unidade hospitalar, com o seu diagnóstico actualizado pelo especialista (caso seja necessário), enquanto isto procede muda para o estado *transferido*. Caso contrário passa para o estado *em tratamento*, ou seja, são efectuados os actos médicos de urgência. Seguidamente o utente recebe alta do serviço de urgência, passa para o estado *atendido* e é retirado da fila de espera por um funcionário hospitalar.

7.4 Desenho do SIEMA

7.4.1 Arquitectura do sistema

Dado que se trata de um protótipo com características particulares, teve-se em conta todas as inovações tecnológicas que nos poderiam vir a ser úteis, assim como a sua possível actualização com vista aos melhoramentos.

Ao ponderar sobre o problema, optou-se por utilizar uma arquitectura de acesso aos dados do tipo *three-tier* (três camadas: apresentação, regras de negócios e sistema de gestão de base de dados), representada na figura 7.11.

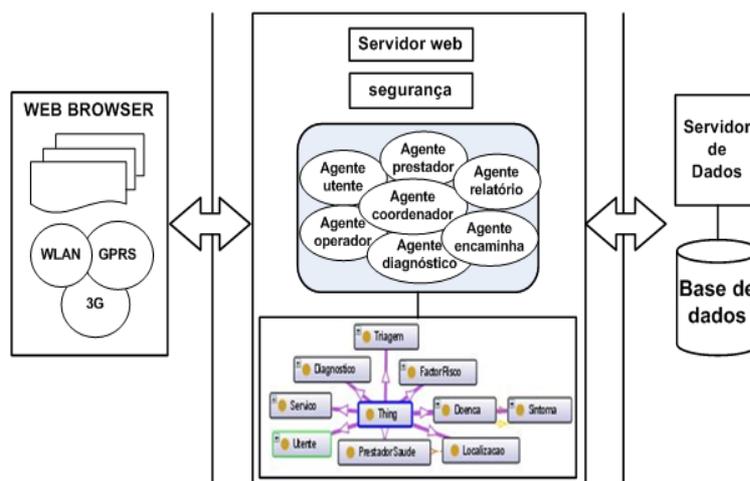


Figura 7.11: Arquitectura de três camadas do SIEMA .

- A camada de apresentação está localizada nos computadores ou outros dispositivos dos utilizadores do SIEMA. É responsável pela interface com o utilizador e não acede directamente ao sistema de gestão de bases de dados, nem implementa as regras de negócios, tornando-a numa camada leve;
- A camada intermédia é responsável por implementar as regras de negócios, validação de dados controlando as funcionalidades de aplicação e acedendo directamente às bases de dados;

- A camada de dados guarda os dados da aplicação num sistema de gestão de bases de dados. Esta camada mantém os dados independentes da camada intermédia.

A adopção desta arquitectura justifica-se porque apresenta várias vantagens, tais como: manutenção (agrupamento a nível de funcionalidade, facilita a organização e um entendimento mais claro do sistema), escalabilidade (capacidade de implementar novas funcionalidades numa camada sem afectar as outras), tolerância a falta (aumento da segurança, uma vez que os utentes só acedem a camada de apresentação e a possibilidade de implementar as políticas de segurança em cada camada de uma forma independente), o tratamento de uma grande quantidade de informação (distribuição da carga por várias máquinas) e, não menos importante, a articulação com sistemas legados.

7.4.2 Partições

A solução em causa representa especificamente as exigências que o serviço nacional de saúde de Angola, isto é, o sistema de informação SIEMA pode conviver com a decomposição mista (níveis horizontais e partições verticais).



Figura 7.12: Partições do SIEMA

Em seguida identificou-se os componentes em camadas horizontais, como é o caso do hardware e do sistema operativo. Por outro lado tem-se as partições verticais, como é o caso do sistema de gestão da base de dados, tal como a figura 7.12 documenta.

7.4.3 Módulos do SIEMA

A nível de funcionalidades e operacionalidade, foram construídos dois módulos, o de pacientes e o administrativo.

Módulo de Pacientes

Este é o módulo que interage directamente com os cidadãos em qualquer lugar onde estes estiverem, fornecendo diversos serviços automatizados que vão desde a pesquisa da unidade hospitalar mais adequada para o atendimento do paciente a partir dos sintomas apresentados, assim como o histórico privado do paciente. Para um atendimento hospitalar adequado e adaptado a diferentes tipos de situações, foram consideradas as seguintes causas influenciadoras:

- ***Registo do Paciente:*** Dados não obrigatórios devido à urgência médica ou à falta de informações no momento, auxílio da recepção da unidade hospitalar.
- ***Sintomas Apresentados:*** através deste, o sistema poderá determinar se o paciente deve ser deslocado para a Unidade Hospitalar que preste serviços para a possível doença identificada pelos sintomas apresentados, assim como poderá também determinar se o paciente deverá manter-se na sua localização actual e cumprir com certos cuidados enquanto aguarda o socorro da equipa médica; isto deve-se a sintomas que indicam doenças contagiosas que requerem o total isolamento do paciente como o caso do Ébola, ou doenças que requerem cuidados especializados como o caso de queimaduras de alto grau.
- ***Unidade Hospitalar Adequada:*** para o sistema indicar a unidade hospitalar adequada que preste serviços de atendimento à doença diagnosticada o sistema conta com as condições rodoviárias apresentadas no momento assim como a disponibilidade do serviço requerido, isto é:

- a) Analisa o estado e/ou histórico de congestionamentos dos percursos possíveis para o destino (unidade hospitalar ou a localização do paciente) no determinado dia e período. Assim, será possível estimar a duração da viagem das unidades hospitalares que fornecem o serviço adequado.
- b) Avalia o estado actual da fila de espera para o atendimento do serviço requerido e o fluxo de requisições do mesmo serviço para cada unidade hospitalar, assim estima-se o tempo de espera do paciente na entidade hospitalar.
- c) Contando com as categorias das unidades hospitalares, o sistema também relaciona a gravidade da doença com a categoria da unidade hospitalar, isto é, existem serviços de doenças que são fornecidas pelas unidades hospitalares de diferentes categorias, e logo para equilibrar a distribuição de pacientes encaminhando-os as unidades hospitalares de categorias mais baixas tendo em conta a gravidade da doença.

Através das condições apresentadas anteriormente o sistema poderá assumir uma decisão mais adequada fornecendo um atendimento mais justificado.

Módulo Administrativo

Os administradores têm acesso restrito ao sistema onde poderão efectuar diversas tarefas de carácter administrativo a fim de disponibilizar informações ao sistema que garantam a sua eficiência e que servem de apoio aos utentes.

O sistema possui as seguintes tarefas administrativas:

- ***Gestão de Serviços:*** O administrador do SIEMA de uma determinada entidade hospitalar informa ao sistema qual é o estado em que se encontram os serviços disponibilizados pela sua unidade hospitalar, visto que o serviço poderá estar

paralisado por um determinado tempo ou até mesmo deixar de funcionar; assim como poderá também registar os novos serviços fornecidos pela sua unidade hospitalar que depois é validado através do sistema pelo Administrador Principal, depois de averiguar a veracidade do mesmo. O Administrador Local também regista funcionários da sua unidade hospitalar, informando os seus dados pessoais e profissionais, e relaciona-o com os serviços disponibilizados pela mesma unidade hospitalar.

- **Atendimento aos Pacientes:** a entrada e saída de pacientes na unidade hospitalar é monitorizada por um operador local que passa informações sobre o atendimento aos pacientes no SIEMA, registando a entrada e a saída de pacientes num determinado serviço. Para os pacientes que chegam à unidade hospitalar solicitando o serviço de emergência sem o auxílio do SIEMA, na sua entrada na unidade hospitalar são registados os seus dados no SIEMA pelo operador responsável. Para os pacientes encaminhados à unidade hospitalar, os registos são entregues aos operadores das respectivas unidades hospitalares, apresentado uma lista de pacientes encaminhados ordenados por data e hora de encaminhamento, contendo os seus respectivos nomes, idade, sexo, sintomas apresentados, possíveis doenças e o serviço adequado. Visto que o SIEMA trata de emergências médicas, os pacientes poderão registar-se com informações incompletas e é da responsabilidade do operador local preencher devidamente as informações sobre o paciente.

7.5 Soluções de Segurança implementadas no SIEMA

É impossível, sendo o SIEMA uma aplicação disponível na web, evitar que a mesma seja alvo de ataques. Assim, é indispensável valermos-nos das técnicas e tecnologias disponíveis actualmente para, na medida do possível, tentar prevenir a ocorrência dos ataques e, se estes forem tentados ou

concretizados, detectá-los o mais cedo possível e minimizar as suas consequências. Os princípios fundamentais que assinalam a segurança dos serviços web e, particularmente, o SIEMA são a disponibilidade; a integridade; a autenticação; a confidencialidade e a não-repudição.

7.5.1 SQL Injection

SQL Injection é um tipo de ataque que permite que o invasor aceda à base de dados manipulando consultas, explorando vulnerabilidades que podem ocorrer quando a aplicação SIEMA aceita os dados que o utilizador introduz sem os validar e executa comandos SQL (*queries* dinâmicas) com estes valores e quando a aplicação permite que as ligações à base de dados sejam feitas com um utilizador com privilégios excessivos. Com *SQL Injection* um invasor pode conseguir fazer consultas à base de dados, modificar os dados com comandos *insert*, *update* e *delete*, podendo mesmo ter o controlo total da base de dados [Clarke, 2012]. Por aqui se vê que um ataque *SQL Injection* bem-sucedido pode ter consequências devastadoras a nível da integridade da base de dados por ser possível alterar e eliminar informação; da confidencialidade, uma vez que o invasor pode ter acesso a dados sensíveis; e também levantar problemas de autenticação de utilizadores e autorização das operações.

Os ataques *SQL Injection* são bastante comuns na web, apesar da sua prevenção poder ser feita com relativa facilidade. Este ataque é interessante para os invasores, uma vez que na área da saúde e concretamente no SIEMA, a base de dados contém informação privilegiada e confidencial, que pode ser explorada para diversos fins mal-intencionados.

Para evitar este tipos de ataques ao invés de *queries* dinâmicas, utilizaram-se ‘*prepared statements*’ (*queries* parametrizadas), mais concretamente o PDO (PHP *Data Objects*) com *queries* parametrizadas. Isto implicou que a nível de desenvolvimento primeiro fosse definido o código SQL, depois passar os parâmetros

do utilizador na consulta. Têm a vantagem de isolar o SQL relativamente aos dados que o utilizador introduz na interface, evitando que os intrusos alterem o fim para o qual as consultas foram criadas. O código das consultas de SQL está armazenado na aplicação e não na base de dados, conforme o excerto do código abaixo.

```
$stmt = $dbh->prepare("INSERT INTO REGISTRY(name, value)
                    VALUES (:name, :value)");
$stmt->bindParam(':name', $name);
$stmt->bindParam(':value', $value);
```

Figura 7.13: Excerto de uma consulta parametrizada utilizado no SIEMA.

7.5.2 Cross-Site Scripting (XSS)

Os ataques *Cross-Site Scripting* (XSS), permitem que o invasor utilize uma aplicação web vulnerável para enviar código malicioso que será executado no navegador web da vítima (que é utilizador da referida aplicação web) [Stuttard, 2011]. Ocorrem quando são exploradas vulnerabilidades a nível da falta ou incorrecta validação dos dados que o utilizador insere no SIEMA. Tendo em conta a forma como o XSS pode ser efectuado, são considerados três tipos:

- **XSS *reflectido***: os dados maliciosos enviados pelo invasor são devolvidos imediatamente pela aplicação para a vítima, sem serem validados pela aplicação. A vítima é enganada, julgando estar a aceder ao SIEMA, mas na verdade está a executar um script malicioso embutido num URL enviado pelo atacante, servindo a aplicação como um ‘intermediário’ inadvertido.
- **XSS *persistente***: os dados são armazenados na aplicação vulnerável e incluídos na resposta HTML criada pelo servidor, o browser da vítima executa os scripts maliciosos acedendo directamente à aplicação, que é percebida como de confiança.

- **XSS baseado no DOM:** o ataque permite manipular maliciosamente o *Document Object Model* (DOM) no browser do cliente. O DOM representa o conteúdo HTML e XML da página web e a sua manipulação permite executar scripts maliciosos no *browser* da vítima.

Os ataques XSS são dos mais comuns e devastadores que afectam aplicações na web [OWASP, 2014]. As principais consequências que os mesmos podem ter no SIEMA são:

- O roubo de sessões, de credenciais e de dados dos utilizadores legítimos;
- O redireccionamento dos utilizadores para sítios maliciosos;
- A utilização para *phishing* ou para envio de *malware* a partir do SIEMA;
- A desconfiguração do *site* do SIEMA.

Tendo em conta as consequências acima mencionadas e para prevenir os ataques XSS no SIEMA procedeu-se à validação e codificação dos dados introduzidos pelos utilizadores, nomeadamente para garantir que os mesmos contêm apenas caracteres permitidos. Foi feita a validação dos dados de terceiros devolvidos pelo SIEMA, substituindo caracteres literais pelas entidades HTML correspondentes. Assim garante-se que estes caracteres são tratados como fazendo parte do conteúdo do HTML e não da estrutura. No PHP a limpeza foi feita com recurso à biblioteca *HTML Purifier*.

7.5.3 Denial of Service

Os ataques do tipo *Denial of Service* (DoS) são perpetrados com o objectivo de dificultar ou mesmo impossibilitar que os recursos que fornecem serviços na web respondam às solicitações dos utilizadores legítimos. Para concretizar o DoS procura-se sobrecarregar o alvo com um número de pedidos superior àquele a que o sistema consegue responder, tornando-o lento ou mesmo

indisponível. Estes ataques podem ser perpetrados de uma forma distribuída, e aí temos o *Distributed Denial of Service* (DDoS), em que o atacante controla maliciosamente centenas ou milhares de computadores que são utilizados para lançar o ataque.

Os DoS/DDoS podem ser direccionados à rede, explorando as características do protocolo TCP/IP ou às próprias aplicações, que é o caso em que nos interessa tratar. Nas aplicações web o atacante pode esgotar a largura de banda, ligações à base de dados, memória, CPU, armazenamento, entre outros. Para além das medidas básicas como manter o sistema operativo actualizado, a *firewall* activa com regras de acesso adequadas. Apesar da impossibilidade de garantir que o sistema seja imune a estes tipos ataques, para minimizar a possibilidade da sua ocorrência restringimos a quantidade de recursos que os utilizadores podem utilizar ou solicitar. No SIEMA tratámos do bloqueio das contas dos utilizadores, isto é, o *login* no SIEMA é obrigatório para administradores do sistema; profissionais prestadores de cuidados de saúde; entidades como hospitais, centros de saúde, ou seja, utilizadores que podem ter acesso informações confidenciais. Por outro lado, é facultativo para utentes.

Os utilizadores do SIEMA registados são autenticados com nome de utilizador e uma senha. Para evitar tentativas de registo em massa utiliza-se CAPTCHA (*Completely Automated Public Test to Tell Computers and Humans Apart*) [Anh, 2004]. O utilizador, após cinco tentativas para entrar no SIEMA com senha errada, fica bloqueado temporariamente, recebendo um aviso no correio electrónico referindo a ocorrência. Poderá recuperar a senha fazendo um pedido por correio electrónico aos administradores do nosso sistema.

Os administradores do SIEMA criam utilizadores no sistema para as entidades prestadoras de cuidados de saúde e estas, por sua vez, criam os *usernames* para os seus profissionais; assim evita-se que utilizadores se registem no SIEMA como profissionais de saúde de forma fraudulenta.

O utente, caso crie uma conta de utilizador, deve fazê-lo na interface do SIEMA, podendo assim manter facilmente a sua informação pessoal e ter um histórico de triagens e encaminhamentos efectuados. Caso não tenha conta no sistema, sempre que pretenda fazer uma triagem terá obrigatoriamente que preencher os seus dados pessoais.

7.6 Resultados

No capítulo anterior apresenta-se uma simulação baseada em agentes aplicada à área da saúde. Os resultados obtidos, descritos nesse capítulo, foram uma motivação para o desenvolvimento do SIEMA. Descreve-se de seguida a metodologia e os resultados da avaliação do protótipo do SIEMA.

Dois aspectos fundamentais do sistema proposto nesta dissertação são a funcionalidade e a usabilidade. A funcionalidade é a capacidade do nosso protótipo corresponder às necessidades para as quais foi desenvolvido para suprir. Dividiu-se o tópico de funcionalidade em três categorias: a adequação das funções disponibilizadas às tarefas e objectivos do utilizador; a correcção dos resultados fornecidos pela aplicação ao que lhe é solicitado e a conformidade do SIEMA com as normas e regulamentações. A usabilidade diz respeito à capacidade do protótipo de ser facilmente utilizado, apreendido e agradável ao utilizador. Para a usabilidade foram analisadas três vertentes: a inteligibilidade que avalia se o utilizador percebe que o sistema é adequado e pode ser utilizado para as tarefas específicas; a facilidade de aprendizagem do utilizador em relação às funcionalidades do protótipo e a operacionalidade, que minimiza o esforço do utilizador para realizar as tarefas.

Foi fundamental avaliar a qualidade dos resultados obtidos pelo SIEMA de forma a maximizar a utilidade do produto gerado e a validar a correcção do mesmo. Uma vez que não foram encontradas em trabalhos similares linhas orientadoras consensuais que pudessem ser utilizadas aqui, optou-se por criar de raiz uma lista de itens que foram quantificados, com o objectivo de se aferir se o protótipo desenvolvido responde eficazmente aos desafios que a emergência hospitalar angolana coloca actualmente.

Considerando a metodologia diferenciada, optou-se por agrupar os resultados avaliados em:

- Resultados obtidos através de simulações: foram analisados dois tópicos, tendo em conta a importância dos mesmos enquanto tarefas principais do SIEMA: a correção do encaminhamento considerando o estado de gravidade atribuído ao utente; o encaminhamento considerando a afluência aos serviços hospitalares.
- Parâmetros avaliados por utilizadores do protótipo: focou-se na opinião referente à utilização do protótipo num ambiente de testes o mais próximo possível da futura utilização em ambiente de produção. Esta avaliação foi efectuada por utentes e por pessoal administrativo hospitalar.

Os parâmetros internos avaliados e os resultados obtidos podem ser encontrados nas tabelas 7.1 e 7.2. Estes testes foram implementados recorrendo a simulações utilizando o protótipo.

7.6.1 Resultados do encaminhamento

A tabela 7.1 reflecte os resultados obtidos na utilização do SIEMA para fazer a triagem e encaminhamento de utentes para as entidades de saúde em Luanda com cuidados de emergência.

Encaminhamento segundo o estado de gravidade do paciente	% de pacientes encaminhados	Número total de pacientes
Estado muito grave encaminhado para hospitais gerais	97,5	93
Estado pouco grave encaminhado para centros de saúde	81	100
Doenças específicas encaminhadas para hospitais da especialidade	92	105
Encaminhamento feito para entidades com os serviços necessários	28	22
Correcção do diagnóstico em relação aos sintomas apresentados	85	89

Tabela 7.1: Resultados do encaminhamento dos pacientes pela gravidade do seu estado.

Nos resultados observados a percentagem de pacientes com estado muito grave encaminhados para hospitais gerais vai de encontro às expectativas, havendo uma pequena margem destes pacientes que

não foi encaminhada para hospitais gerais porque tinham uma doença específica, tendo sido encaminhados para hospitais da especialidade.

Dos utentes com estado pouco grave, 81% foram encaminhados para centros de saúde, os restantes 19% receberam aconselhamento e não se dirigiram a entidades hospitalares. Verificou-se que houve necessidade de reencaminhar 28% de pacientes, o que consideramos um valor elevado. Isto pode ser justificado pelo facto de os utentes não inserirem os sintomas adequados à sua condição de saúde, o que leva a um encaminhamento inicial desadequado face a essa condição. A correcção é elevada porque os problemas que vão para as emergências não são muito variáveis.

Na tabela 7.2 pode observar-se a percentagem de pacientes que foram encaminhados para hospitais para onde, em princípio, não deveriam ter sido encaminhados, dado serem hospitais sobrelotados.

Avaliação do encaminhamento segundo a fila de espera dos hospitais	% de pacientes encaminhados	Número total de pacientes
Utentes encaminhados para hospitais com maior tempo de espera global	5	95
Utentes encaminhados para hospitais com maior tempo de espera para a gravidade do paciente	3	83

Tabela 7.2: Resultados do encaminhamento avaliando as filas de espera dos hospitais.

Na análise da correcção do encaminhamento em relação à sobrelotação dos hospitais, observámos que continua a haver utentes encaminhados para hospitais congestionados, o que deve ser evitado. Analisámos que isso deve-se à existência de serviços disponíveis apenas nesses hospitais, o que leva a considerar a importância de uma equilibrada distribuição de serviços e recursos hospitalares. O diagnóstico errado também contribui para este facto. Os doentes não se encontravam em situação grave mas precisavam de cuidados específicos.

7.6.2 Avaliação do protótipo por utilizadores

A avaliação do protótipo por utilizadores incidiu sobre a sua usabilidade e funcionalidade, considerando dois tipos de utilização: a dos utentes e a dos profissionais relacionados com a área de saúde. A diferenciação é útil pois o protótipo destina-se a ser utilizado por ambos, mas o conhecimento que têm da área da saúde é bastante diverso, logo estes utilizadores terão diferentes expectativas em relação ao SIEMA. A facilidade de uso do computador também foi considerada. A avaliação é feita numa escala de cinco valores, que varia entre 1 (o menos possível) a 5 (o mais possível). O SIEMA foi avaliado por 100 utentes e 12 profissionais de saúde.

Nos testes de usabilidade os utilizadores executam várias tarefas no protótipo, recolhe-se a sua opinião através de um questionário e entrevistas e avalia-se o seu desempenho, acompanhando a execução das tarefas e cronometrando o tempo de realização das mesmas.

A metodologia empregue seguiu os seguintes passos: inicialmente foi dada uma explicação acerca dos objectivos e funcionalidades do SIEMA. Os utilizadores familiarizaram-se com o protótipo. Cada utilizador foi convidado a efectuar uma lista de tarefas que consistiram em procurar informação genérica; registar-se no sistema; registar um paciente e introduzir a informação necessária para que fosse efectuada uma triagem; solicitar encaminhamento; actualizar informação e ver históricos e relatórios. Recolheu-se a opinião dos utilizadores.

Na tabela 7.3 pode ver-se a classificação média atribuída a cada tópico avaliado pelos utilizadores do protótipo.

Os resultados altamente positivos observados nesta tabela dão-nos uma indicação da relevância da implementação do SIEMA no Sistema Nacional de Saúde em Angola.

Item avaliado	Utilizador tipo utente	Utilizador da área da saúde
Proficiência no uso do computador	3	3
Facilidade de utilização (Agradabilidade da interface)	4	4
Relevância dos sintomas apresentados	5	4
Utilidade das funcionalidades disponibilizadas na aplicação	5	5
Utilidade dos históricos e relatórios	Não aplicável	4
Correcção do encaminhamento	4	4
Confiança nos resultados apresentados	5	4
Utilidade do sistema para a diminuição de contágios	5	5
Qualidade da informação disponibilizada acerca das entidades de saúde	4	4

Tabela 7.3: Resultados da avaliação feita pelos utilizadores ao protótipo.

Na tabela 7.3 destacam-se os seguintes itens: a utilidade das funcionalidades disponibilizadas na aplicação e a utilidade para a diminuição dos contágios. A proficiência no uso do computador reflecte a diferença que existe entre a população mais jovem e a mais idosa no uso do computador, sendo que os mais jovens estão mais à vontade no uso da tecnologia. Este facto verifica-se mesmo entre os profissionais de saúde. Os profissionais de saúde que consideraram uma relevância dos sintomas apresentados débil foram convidados a indicar quais os sintomas em falta ou desadequados. Neste item houve unanimidade no grupo dos utentes.

8. Conclusão

“Mais do que saber o que foi feito, melhor será apurar o que fazer”.
Sêneca

Pretendeu-se com a proposta apresentada nesta dissertação encontrar possíveis respostas para várias questões, algumas com um cunho marcadamente exploratório, outras mais pragmáticas relacionadas com a tentativa de melhorar a forma como o acesso ao serviço de emergências hospitalares é feito em Angola. Assim, pode considerar-se este trabalho dividido em duas partes complementares: a simulação baseada em Netlogo e a concretização de um protótipo que organiza o acesso às emergências hospitalares.

Os indicadores na área da saúde colocam Angola numa posição abaixo da média regional e mundial. Para além das questões de contexto externo (acesso a água potável, infraestruturas de saneamento básico, higiene e controlo de qualidade alimentar, entre outras), para os fracos indicadores na área da saúde contribuem também vários problemas inerentes ao Sistema Nacional de Saúde Angolano (SNSA): os recursos humanos são insuficientes e subaproveitados e os recursos materiais, para além de insuficientes, frequentemente têm problemas a nível de armazenamento e manutenção; os serviços intra-hospitalares funcionam com pouca coordenação entre as diversas unidades. As várias entidades de saúde do SNSA, como hospitais, clínicas e centros médicos, não têm redes de encaminhamento de utentes funcionais nem protocolos de comunicação eficientes implementados. Cada entidade funciona fechada sobre si mesma e não existem pólos com efectiva capacidade de articulação.

8.1 Avaliação crítica do trabalho realizado

Geralmente os trabalhos de investigação na área da computação não são projectos acabados, havendo sempre melhorias que se podem efectuar e outros possíveis caminhos que podem ser explorados, mas que por constrangimentos ou opções resultantes da própria investigação não foram concretizados. Aliás, numa primeira fase, se fossem exploradas todas as linhas de investigação em aberto, a dissertação extravasaria o âmbito do tema em estudo. A nossa proposta não foge a esta realidade, dado que a situação retratada está em permanente evolução e o trabalho não terminará com a defesa da dissertação a ele associada. A cada momento foram avaliadas as opções tomadas, e como é próprio numa investigação surgem sempre dúvidas acerca da adequação das mesmas. Assim sendo, ao fazer uma retrospectiva do trabalho desenvolvido, podem avaliar-se as soluções implementadas e eventualmente concluir que algumas delas podem não ter sido as melhores.

Inicialmente foi feito um levantamento sobre a utilização das tecnologias de informação nos cuidados de saúde prestados pelo Serviço Nacional de Saúde Angolano à população. Resumidamente, concluiu-se que a utilização de sistemas informáticos nas entidades hospitalares não é sistemática, a informação sobre a saúde está dispersa pelas várias entidades que actuam no sector e não existe uma uniformização dos métodos de recolha, tratamento, análise e armazenamento dos dados por parte das mesmas. Contribuiu negativamente para esta fase de pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação o facto de se terem verificado dificuldades em obter informação relevante, nomeadamente sobre quais as tecnologias e sistemas implementados e a sua contribuição para a prestação dos cuidados médicos e também acerca da informação gerada por esses sistemas, como por exemplo estatísticas de acesso aos serviços de emergência hospitalar.

Com base no levantamento efectuado, colocou-se a seguinte hipótese: até que ponto seria benéfico alterar as políticas de acesso aos serviços de emergência hospitalar, criando um modelo de acesso organizado aos mesmos? Para avaliar políticas são habitualmente utilizadas abordagens que podem ser agrupadas, grosso modo, numa primeira, mais tradicional, que

recorre a modelos matemáticos e físicos, expressos através de equações e diagramas de fluxo, e uma segunda, que utiliza modelos computacionais, nomeadamente baseados em sistemas multi-agente. Neste caso, optou-se pelo modelo computacional, mais concretamente, simulação social baseada em agentes. Esta opção revelou-se mais apropriada tendo em consideração, por um lado, a natureza dinâmica e descentralizada do acesso ao serviço de emergência hospitalar que se pretendeu simular e, por outro lado, a falta de dados quantitativos exactos acerca das variáveis a considerar. Utilizou-se a *framework* NetLogo, que se revelou especialmente apropriada para este tipo de simulação. O modelo de simulação foi construído para explorar a dinâmica 'acesso organizado' vs. 'acesso desorganizado' às urgências hospitalares e a análise incidiu sobre as vertentes: alterações na taxa de mortalidade dos utentes nas urgências; distribuição dos utentes pelos serviços de urgência das entidades hospitalares; variabilidade no tempo de tratamento do utente; influência do conhecimento do utente sobre o seu estado de saúde na ida à urgência.

Dos resultados das simulações efectuadas, comparando com um modelo em que não existe qualquer organização no acesso às urgências, o modelo com acesso organizado diminui a mortalidade dos utentes, reduz o tempo que o doente permanece nas urgências, distribui os utentes pelas várias entidades hospitalares de forma mais equitativa e evita a ida às urgências de utentes que não tinham um carácter urgente.

Apesar de todas as dificuldades encontradas no acesso aos dados nas entidades de saúde em Angola, acreditamos que a simulação computacional apresentada é uma ferramenta próxima da realidade na representação dos actores e meios envolvidos na temática do acesso aos serviços de urgência e ainda constitui uma demonstração adequada da dinâmica de acesso às entidades de saúde com serviços de urgência, podendo contribuir positivamente para a sensibilização dos decisores do sistema de saúde angolano para a necessidade de criação de políticas capazes de inverter o quadro actual na área de emergência hospitalar.

Os resultados obtidos na simulação concretizada com a ferramenta Netlogo foram um incentivo que levou ao desenvolvimento do protótipo baseado na

tecnologia de agentes, denominado SIEMA, para apoio à gestão de emergências médicas no SNSA.

Seguidamente apontam-se as limitações encontradas no desenvolvimento do SIEMA, mas que, na nossa opinião, acabam por não prejudicar a funcionalidade do mesmo.

O SIEMA implementa medidas de segurança aplicacional como, por exemplo, validação da autenticação dos utilizadores, de dados inseridos, codificação de dados devolvidos pela aplicação. A necessidade destas medidas advêm do facto de a mesma estar disponível na Web, logo susceptível a ataques, tais como *SQL Injection*, *Distributed Denial of Service*, *Cross Site Scripting*, entre outros, conforme abordado no capítulo 7. Para isso, ao invés das soluções de segurança aplicadas no SIEMA, devia haver um agente dedicado às questões de segurança da aplicação, de segurança dos próprios agentes e da comunicação entre eles.

Na ontologia desenhada optou-se por limitar a quantidade de conceitos e as relações entre estes. Assim, o universo das patologias disponibilizadas inclui regras para as doenças mais comuns em Angola. A criação de uma ontologia completa do domínio, explicitando todas as relações entre conceitos relevantes (tais como doenças, sintomas e factores de risco) exigiria um trabalho colaborativo demorado com os peritos que detêm o conhecimento (médicos), que extravasa o âmbito deste trabalho.

Para o desenho e desenvolvimento da aplicação SIEMA utilizou-se a metodologia de desenvolvimento RUP e a linguagem de modelação UML. Apesar de existirem metodologias de engenharia de software orientadas a agentes que usam RUP2 e UML/AUML, tais como ADELFE [Bernon et al., 2005] ou MESSAGE [Caire et al, 2002], podia ter-se optado por metodologias que englobam de uma forma integrada as fases de análise, desenho da arquitectura e desenho dos agentes, e em particular que facilitem a implementação de agentes BDI, permitindo que conceitos tais como crenças, desejos, intenções ou planos, associados a este tipo específico de agentes sejam utilizados desde uma fase inicial do desenvolvimento do software. Uma das metodologias escolhidas poderia ter sido ASPECS

[Cossentino et al., 2010], INGENIAS [Pávon et al., 2005], TROPOS [Bresciani et al., 2004], ou mesmo PROMETHEUS [Bergenti et al., 2004].

8.2 Trabalho futuro

Apesar de conceptualmente não ser muito significativa a distância existente entre o protótipo desenvolvido e um sistema em produção, para ser utilizado num cenário real podem implementar-se algumas melhorias no protótipo apresentado nesta proposta. A possibilidade de implementar melhorias está relacionada com o facto de se ter criado um protótipo aberto a futuros desenvolvimentos.

Assim, surgem vários tópicos que podem ser considerados para futuros desenvolvimentos. A apontar temos os seguintes pontos:

- Estender a ontologia para incluir mais conceitos, em particular sub-classes das classes sintoma, doença e factor de risco e as relações, atributos e axiomas respectivos para essas sub-classes. Trabalhar em colaboração com especialistas no domínio para definir o conjunto de doenças relevantes para a área de emergência médica e para a região de Angola.
- O Sistema Integrado de Emergências Médicas Angolanas deverá ser uma aplicação ubíqua, de acesso móvel. O serviço web é disponibilizado em computadores portáteis e *smartphones*. Por outro lado, poderíamos recorrer a *wearable devices*, dispositivos médicos portáteis para recolha de informação médica directamente dos utentes, e envio dessa informação para o SIEMA.
- Tendo em vista a interoperacionalidade do sistema, utilizar uma plataforma de agentes de ampla utilização pelo mercado, como por exemplo a plataforma JADE.
- Implementar mecanismos de segurança, atendendo ao referido no ponto 8.1 (críticas ao trabalho efectuado). Os sistemas informáticos de apoio à saúde guardam, frequentemente, informação sensível que tem que ser mantida privada, como o histórico de patologias dos utentes. O SIEMA não foge à regra, daí a necessidade de evitar ataques do tipo

Sensitive Data Exposure, Broken Authentication and Session Management, entre outros.

- Implementar componentes que permitam que o SIEMA contemple algumas funcionalidades presentes em sistemas de gestão hospitalar, nomeadamente, permitir que os médicos utilizem activamente o sistema para visualizarem consultas, adicionarem informações sobre as consultas (exames recomendados, medicamentos prescritos, etc.) e obterem informações sobre os pacientes.

8.3 Impacto social do SIEMA

A procura contínua de tecnologias e ferramentas para melhorar a qualidade dos serviços de saúde prestados à população é uma constante nas instituições da área da saúde. A par desta demanda, são frequentemente necessárias mudanças estruturais e formas inovadoras de aumentar a eficácia e eficiência dos recursos disponíveis e a satisfação dos utentes e profissionais da área da saúde. O trabalho proposto nesta tese pode contribuir positivamente para este aumento e o seu impacto social é uma forte motivação para a sua implementação em entidades de saúde e utilização pelo público.

A área da saúde é uma das mais impactantes na qualidade de vida das populações e, em consequência, sistemas que alavanquem a qualidade da prestação de cuidados de saúde trazem impactos sociais favoráveis. Sendo o nosso protótipo direccionado para a organização das emergências médicas, pela sua natureza imediata, alguns impactos podem ser observados logo a curto prazo, ao invés do que aconteceria se, por exemplo, o trabalho visasse os cuidados de saúde preventivos. São vários os benefícios que a utilização do SIEMA pode trazer à sociedade angolana:

- Permite melhorar a informação que as entidades hospitalares têm acerca da utilização dos seus recursos e adequação dos mesmos às necessidades. As entidades hospitalares devem utilizar esta informação como um instrumento de gestão, reduzindo os custos, mas simultaneamente aumentando a qualidade dos serviços prestados;

- Permite aumentar o conhecimento que os cidadãos têm acerca da temática da saúde, nomeadamente funcionamento das entidades prestadoras de serviços de saúde, medidas de concretização da melhoria do acesso aos serviços de saúde; cuidados que os próprios cidadãos devem ter para desempenharem um papel activo na sua condição de saúde. Cidadãos mais informados contribuem para a utilização mais racional dos recursos disponíveis, e no caso de recorrerem aos serviços de saúde, para uma melhor comunicação e colaboração com os profissionais de saúde;
- Permite aumentar o conhecimento que as entidades hospitalares têm acerca de cada paciente que utiliza os seus serviços, possibilitando uma agilização dos cuidados prestados na medida em que os serviços hospitalares podem estar mais preparados para atender o paciente, bem como uma melhor adequação na forma de comunicar com ele e lhe transmitir informação pertinente, aumentando desta forma a satisfação do utente;
- Estimular a aproximação e colaboração entre as diferentes categorias de profissionais que trabalham nos serviços de emergência hospitalar, fomentando a cultura de cooperação, a valorização e a motivação de todos os recursos humanos envolvidos;
- Permite ter um forte impacto na melhoria da percepção que os utentes têm do Serviço Nacional de Saúde, uma vez que frequentemente os cuidados de emergência são os mais utilizados pelos cidadãos e constituem uma porta de entrada nos serviços de saúde, nomeadamente com a referenciação para consultas de especialidade. Processos mais eficazes no acesso ao serviço de emergência hospitalar são imediatamente apercebidos pelos utentes;
- Reduzir a possibilidade de transmissão de doenças contagiosas graves, tais como febres hemorrágicas, possibilitando que nestes casos os cuidados de emergência vão ao encontro do utente, ao invés do utente se deslocar às unidades de saúde, frequentemente sobrelotadas, onde seria evidente o perigo de contágio;

- Permitir uma melhoria da saúde da população e de alguns indicadores de saúde através da redução do tempo de espera dos pacientes nos serviços de emergência e da redução da mortalidade. O encaminhamento mais adequado em função do estado e sintomatologia do doente e a informação o mais atempada possível dada à entidade de saúde são variáveis que contribuem directamente para que as reduções mencionadas possam ocorrer, para além das melhorias a nível da organização dos serviços de emergência médica;
- Diminuir a ansiedade dos utentes e das suas famílias no acesso a estes cuidados de saúde. Em virtude da gravidade do estado do paciente e urgência no seu atendimento, a utilização dos serviços de emergência hospitalar nos moldes em que é correntemente feita em Angola é um factor que causa bastante preocupação aos seus utilizadores;
- Diminuir o tempo de ausência dos pacientes e seus acompanhantes dos seus afazeres profissionais e familiares. No cenário angolano, apesar de dificilmente quantificável, é certo que uma redução no tempo de espera e permanência na entidade hospitalar traria benefícios notórios a nível económico e social.

Por todos os motivos acima apontados, a utilização do SIEMA por parte do Serviço Nacional de Saúde Angolano para organizar o acesso aos cuidados de emergência teria consideráveis impactos positivos, especificamente a nível social, que são aqueles que mais nos motivaram, mas também a nível económico, financeiro e de implementação de uma visão estratégica em que os utentes são o elemento central do processo.

8.4 Contribuições

Detalhando algumas das contribuições da tese, anteriormente abordadas no capítulo I, ponto 1.6, queremos destacar as seguintes:

- Proposta de uma abordagem e visão diferentes sobre a forma de resolver o problema de gestão de emergências médicas em Angola;
- Estudo da gestão do sistema de emergência hospitalar orientado para a realidade e para as necessidades do SNS angolano. Aqui se concluiu

que não existe informação on-line disponibilizada orientada para o contexto angolano acerca das entidades de saúde, serviços, cuidados de saúde etc. Os utentes não dispõem de aconselhamento o seu estado de saúde nem orientação sobre qual a entidade hospitalar mais adequada em função do mesmo. Os sistemas de informação não são utilizados de forma sistemática no SNSA;

- Recurso à simulação social baseada em agentes para aferir a utilidade da implementação de políticas de acesso às urgências hospitalares, modelando os actores e processos intervenientes, testando cenários e validando hipóteses. Foi criada com a *framework* NetLogo, uma simulação que pode ser utilizada pelas entidades responsáveis pela delimitação de políticas de saúde como ferramenta para geração e análise de cenários;
- Definição de um modelo de acesso às emergências hospitalares utilizando o paradigma multi-agente na gestão do acesso às urgências hospitalares na modelação das suas tarefas fundamentais como, por exemplo, fazer triagem, encaminhar, estabelecer diagnóstico;
- Criação de um protótipo funcional (SIEMA), para gerir o acesso às urgências hospitalares. Este protótipo utiliza o paradigma de computação baseada em agentes na implementação das suas tarefas nucleares. Direciona os utentes para a entidade prestadora de cuidados de emergência mais adequada em função de uma pré-triagem; regista os utentes no sistema e guarda um histórico dos seus dados pessoais e dos sintomas e encaminhamentos efectuados; permite o acesso das entidades hospitalares à informação médica dos utentes registados e disponibiliza informação de carácter genérico sobre as entidades de saúde angolanas. A aplicação pode ser utilizada directamente pelo utente (via internet), ou através de um operador (via telefone);
- Integração de várias tecnologias distintas, quer na construção de todo o protótipo, quer na componente dos agentes (RUP/UML/JAVA);
- Utilização de um ponto de vista multidisciplinar para apresentar uma solução possível para o problema da gestão das emergências hospitalares em Angola. Assim, recorreu-se a várias disciplinas, tais

como simulação social baseada em sistemas multi-agente; inteligência artificial distribuída, com o paradigma de sistemas multi-agente; técnicas de inteligência artificial, nomeadamente ontologias, agentes do tipo BDI; engenharia de software.

Referências Bibliográficas

- Angola: General health statistical profile; <http://www.who.int/gho/countries/ago.pdf>
- Ahn, L., Blum, M., & Langford, J. (2004). Telling humans and computers apart automatically. *Communications of the ACM*, 47(2), 56-60.
- Antunes, L., Coelho, H., Balsa, J., and Respício, A., e*plore v.0: Principia for strategic exploration of social simulation experiments design space. In *Shingo Takahashi, David Sallach, and Juliette Rouchier, editors, Advancing Social Simulation – the First World Congress*, pp. 295–306. Springer, Tokyo, 2007.
- Axtell, R. (2000). Why agents?: on the varied motivations for agent computing in the social sciences.
- Bergenti, F., Gleizes, M. P., & Zambonelli, F. (Eds.). (2004). *Methodologies and software engineering for agent systems: the agent-oriented software engineering handbook* (Vol. 11). Springer.
- Bernon, C., Camps, V., Gleizes, M. P., & Picard, G. (2005). Engineering adaptive multi-agent systems: The adelfe methodology. *Agent-oriented methodologies*, 172-202.
- Bilge, U., & Saka, O. (2005). Agent based simulations in healthcare. *Studies in health technology and informatics*, 124, 699-704.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(Suppl 3), 7280-7287.
- Bresciani, P., Perini, A., Giorgini, P., Giunchiglia, F., & Mylopoulos, J. (2004). Tropos: An agent-oriented software development methodology. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 8(3), 203-236.
- Brustoloni, J. C. (1991). *Autonomous agents: Characterization and requirements*. School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- Caire, G., Coulier, W., Garijo, F., Gomez, J., Pavón, J., Leal, F., Ghainho, P., Kearney, P., Stark, J., Evans, R. & Massonet, P. (2002). Agent oriented analysis using MESSAGE/UML. In *Agent-oriented software engineering II* (pp. 119-135). Springer Berlin Heidelberg.

- Campana, F., Moreno, A., Riano, D., & Varga, L. Z. (2008). K4care: Knowledge-based homecare e-services for an ageing europe. In *Agent technology and e-health* (pp. 95-115). Birkhäuser Basel.
- Castanié, F., Mailhes, C., Henrion, S., Villeneuve, J., Lareng, L., Alonso, A., Weber, J-L., Zeevi, B., Lochelongue, P., Depeursinge, Y., Kollias, V. & Ferhaoui, M. (2003) *Universal Remote Signal Acquisition For hHealth (U-R-SAFE)* The U-R-Safe project.
- Charfeddine, M., & Montreuil, B. (2008). *Toward a conceptual agent-based framework for modelling and simulation of distributed healthcare delivery systems*. CIRRELT.
- Clarke, J. (Ed.). (2012). *SQL injection attacks and defense*. Elsevier.
- Coen, M. H. (1994). SodaBot: A software agent environment and construction system. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*. 1433. Print.
- Connor, C., Averbug, D., & Miralles, M.. Julho 2010. Angola Health System Assessment. *Bethesda, MD: Health Systems 20/20, Abt Associates Inc.*
- Cooley, P., Lee, B. Y., Brown, S., Cajka, J., Chasteen, B., Ganapathi, L., ... & Burke, D. S. (2010). Protecting health care workers: a pandemic simulation based on Allegheny County. *Influenza and other respiratory viruses*, 4(2), 61-72.
- Corchado, J. M., Bajo, J., & Abraham, A. (2008). GerAmi: Improving healthcare delivery in geriatric residences. *Intelligent Systems, IEEE*, 23(2), 19-25.
- Cortés, U., Annicchiarico, R., Urdiales, C., Barrué, C., Martínez, A., Villar, A., & Caltagirone, C. (2008). Supported Human autonomy for recovery and enhancement of cognitive and motor abilities using agent technologies. In *Agent Technology and e-Health* (pp. 117-140). Birkhäuser Basel.
- Cossentino, M., Gaud, N., Hilaire, V., Galland, S., & Koukam, A. (2010). ASPECS: an agent-oriented software process for engineering complex systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 20(2), 260-304.
- Cruz-Correia, R., Vieira-Marques, P., Costa, P., Ferreira, A., Oliveira-Palhares, E., Araújo, F., & Costa-Pereira, A. (2005). Integration of hospital data using agent technologies-a case study. *AI Communications*, 18(3), 191-200.
- Daknou, A., Zgaya, H., Hammadi, S., & Hubert, H. (2008, October). Toward a multi-agent model for the care of patients at the emergency department. In N. E. Mastorakis, M. Poulos, V. Mladenov, Z. Bojkovic, D. Simian, S. Kartalopoulos,

... & C. Udriste (Eds.), *WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering* (No. 10). WSEAS.

- Eeles, P., Houston, K., & Kozaczynski, W. (2003). *Building J2EE applications with the rational unified process*. Boston, Addison-Wesley.
- Epstein, J. M. (2008). Why model?. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4), 12.
- Forrester, J. W. (1958). Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers. *Harvard business review*, 36(4), 37-66.
- Franklin, S., & Graesser, A. (1997). Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. In *Intelligent agents III agent theories, architectures, and languages* (pp. 21-35). Springer Berlin Heidelberg.
- Gabinete de Estudos, Planeamento e Estatística. Janeiro de 2012. In UNGASS 2012.
- Genesereth, M. R., & Nilsson, N. J. (1987). *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann.
- Georgeff, M. & Lansky, A. (1987). Reactive reasoning and planning. In *Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence* (pp. 677-682). Seattle, WA.
- Gilbert, N. (2004). Agent-based social simulation: dealing with complexity. *The Complex Systems Network of Excellence*, 9(25), 1-14.
- González-Vélez, H., Mier, M., Julià-Sapé, M., Arvanitis, T. N., García-Gómez, J. M., Robles, M., Lewis, P.H., Dasmahapatra, S., Dupplaw, D., Peet, A., Arús, C., Celda, B., Van Huffel, S. & Lluçh-Ariet, M. (2009). HealthAgents: distributed multi-agent brain tumor diagnosis and prognosis. *Applied Intelligence*, 30(3), 191-202.
- Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing?. *International journal of human-computer studies*, 43(5), 907-928.
- Hassan, S., Antunes, L. and Gilbert, N., (2010), Going back home - social simulation and artificial intelligence. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 16(4):325–328, 2010.
- Hassan, S., Arroyo, J., Galán, J.M., Antunes, L. and Pavón, J. Asking the oracle: Introducing forecasting principles into agent-based modelling. *J. Artificial Societies and Social Simulation*, 16(3), 2013.
- Hayes-Roth, B. (1995). An architecture for adaptive intelligent systems. *Artificial Intelligence*, 72(1), 329-365.

- Hill, R., Polovina, S., & Beer, M. (2005). Managing healthcare workflows in a multi-agent system environment. *In Proceedings of the Agents Applied in Healthcare Workshop, Nineteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Edinburgh, Scotland.*
- Hoen, P. J. T., Tuyls, K., Panait, L., Luke, S., & La Poutre, J. A. (2005, July). An overview of cooperative and competitive multiagent learning. *In Proceedings of the First international conference on Learning and Adaption in Multi-Agent Systems* (pp. 1-46). Springer-Verlag.
- Isern, D., Sánchez, D., & Moreno, A. (2012). Ontology-driven execution of clinical guidelines. *Computer methods and programs in biomedicine*, 107(2), 122-139.
- Jennings, N. R., Sycara, K., & Wooldridge, M. (1998). A roadmap of agent research and development. *Autonomous agents and multi-agent systems*, 1(1), 7-38.
- Krejcie, R. V. & Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30, pp. 607-610.
- Laleci, G. B., Dogac, A., Olduz, M., Tasyurt, I., Yuksel, M., & Okcan, A. (2008). SAPHIRE: a multi-agent system for remote healthcare monitoring through computerized clinical guidelines. *In Agent technology and e-health* (pp. 25-44). Birkhäuser Basel.
- Law, A. (2007). *Simulation modeling and analysis*, 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Macy, M. W., & Willer, R. (2002). From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling. *Annual review of sociology*, 143-166.
- Maes, P. (1995). Artificial life meets entertainment: lifelike autonomous agents. *Communications of the ACM*, 38(11), 108-114.
- Moreno, A., Valls, A., & Riano, D. (2005, October). Palliasys: agent-based proactive monitoring of palliative patients. *In Proceedings of the 4th International Workshop on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, Leon, Spain.*
- Nikolai, C., & Madey, G. (2009). Tools of the trade: A survey of various agent based modeling platforms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(2), 2.
- Nwana, H. S. (1996). Software agents: An overview. *The knowledge engineering review*, 11(03), 205-244.

- Oliveira, J. A. B. D. (2003). Coalition based approach for shop floor agility—a multiagent approach.
- OWASP Foundation, <http://www.owasp.org>. acessado em Novembro 2014.
- Panait, L., & Luke, S. (2005). Cooperative multi-agent learning: The state of the art. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 11(3), 387-434.
- Paulussen, T. O., Zöller, A., Rothlauf, F., Heinzl, A., Braubach, L., Pokahr, A., & Lamersdorf, W. (2006). *Agent-based patient scheduling in hospitals* (pp. 255-275). Springer Berlin Heidelberg.
- Pavón, J., Gómez-Sanz, J. J., & Fuentes, R. (2005). The INGENIAS methodology and tools. *Agent-oriented methodologies*, 9, 236-276.
- Relatório de avaliação nacional do sistema de informação sanitária (SIS), MINSA – GEPE, Luanda, Março 2010.
- Russell S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence – A Modern Approach*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.
- Shirabad, J. S., Wilk, S., Michalowski, W., & Farion, K. (2012). Implementing an integrative multi-agent clinical decision support system with open source software. *Journal of medical systems*, 36(1), 123-137.
- Schelling, T.C. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. New York , WW Norton & Co, pp. 137-157.
- Schumacher, M., Helin, H., & Schuldt, H. (2008). *CASCOM: Intelligent Service Coordination in the Semantic Web: Intelligent Service Coordination in the Semantic Web*. Springer.
- Shoham, Y., & Leyton-Brown, K. (2008). *Multiagent systems: Algorithmic, game-theoretic, and logical foundations*. Cambridge University Press.
- Stuttard, D., & Pinto, M. (2011). *The Web Application Hacker's Handbook: Finding and Exploiting Security Flaws*. Wiley.
- Tentori, M., Favela, J., & Rodriguez, M. D. (2006). Privacy-aware autonomous agents for pervasive healthcare. *Intelligent Systems, IEEE*, 21(6), 55-62.
- The Open Biological and Biomedical Ontologies - <http://www.obofoundry.org/>
- Tolchinsky, P., Cortes, U., Modgil, S., Caballero, F., & Lopez-Navidad, A. (2006). Increasing human-organ transplant availability: Argumentation-based agent deliberation. *Intelligent Systems, IEEE*, 21(6), 30-37.

- Ulieru, M., Hadzic, M., & Chang, E. (2006). Soft computing agents for e-Health in application to the research and control of unknown diseases. *Information Sciences*, 176(9), 1190-1214.
- Urovi, V., Olivieri, A. C., Bromuri, S., Fornara, N., & Schumacher, M. I. (2013, March). A peer to peer agent coordination framework for IHE based cross-community health record exchange. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 1355-1362). ACM.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- Wooldridge, M., & Jennings, N. R. (1995). Agent theories, architectures, and languages: a survey. In *Intelligent agents* (pp. 1-39). Springer Berlin Heidelberg.
- Wooldridge, M., & Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(02), 115-152.
- Wooldridge, M. J. (2000). *Reasoning about rational agents*. MIT press.
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- Yue, Y., Marla, L., & Krishnan, R. (2012, December). An Efficient Simulation-Based Approach to Ambulance Fleet Allocation and Dynamic Redeployment. In *Proceedings of the twenty-sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
- Zhang, X., Xu, H., & Shrestha, B. (2009). Building a health care multi-agent simulation system with role-based modeling. *MAS for Health Care Simulation and Modeling: Applications for System Improvement*.