

Gilson Medeiros e Silva

**ESTRUTURA MULTI-AGENTE
PARA ADMINISTRAR
UM SISTEMA DE EMERGÊNCIA**

Tese apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
com o requisito parcial para obtenção
do grau de Doutor em
Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Rogério Cid Bastos, Dr.

Florianópolis
2002

Gilson Medeiros e Silva

ESTRUTURA MULTI-AGENTE
PARA ADMINISTRAR
UM SISTEMA DE EMERGÊNCIA

Esta tese foi julgada e aprovada para a
Obtenção do grau de **Doutor em Engenharia de
Produção no Programa de Pós-Graduação em
Engenharia da Produção** da
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 11 de dezembro de 2002

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

Prof. Tomás D. M. Rodríguez, Dr.
Universidade Federal de Rondônia

Prof. Rogério Cid Bastos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador

Prof. Lázaro Quintana Tápanes, Dr.
Universidade Federal de Rondônia

Prof. Álvaro G. R. Lezana, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz F. Jacintho Maia, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

A minha esposa Angela
e filhos Giselle, Jean e Nataly

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a minha esposa Angela Maria Teixeira Medeiros pelo amor, incentivos e por acreditar na minha capacidade acima de qualquer coisa. Aos meus filhos Giselle Patrícia Teixeira Medeiros, Jean Teixeira Medeiros e Nataly Teixeira Medeiros que estiveram ao meu lado sempre sugerindo, apoiando-me e incentivando-me nesta jornada.

Ao professor Rogério Cid Bastos, por sua amizade, seu apoio e por toda segurança e confiança transmitida para que eu pudesse executar este trabalho.

Ao professor Álvaro Guillermo Rojas Lezana, pelo incentivo e sugestões nesta tese.

À memória dos meus pais, Manoel Medeiros e Silva e Alzira Medeiros de Souza.

Ao Professor Tomás Daniel Meneúdez Rodríguez, pela sua amizade e constante consideração demonstrada durante o período em que trabalhamos.

Ao amigo Sérgio Luiz de Medeiros Rivero, pelas sugestões valiosas.

A minha irmã Maria de Fátima Medeiros e Silva, pela revisão e sugestões.

Ao amigo Nildo Carlos da Silva, pelo apoio e cooperação.

À Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR e à CAPES, por terem me proporcionado as condições para realizar este trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse realizar este trabalho.

Resumo

SILVA, Gilson Medeiros e. **Estrutura Multi-Agente para administrar um sistema de emergência**. 2002. 164f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Este trabalho propõe uma plataforma multi-agente para gerenciar um Sistema de Emergência, onde os agentes trabalham de forma autônoma e cooperativa para atingir os objetivos das pessoas que precisam do serviço em potencial, tornando a execução do atendimento mais eficiente, rápido e com qualidade.

A plataforma do sistema está estruturada com base na arquitetura InteRRaP, onde o agente é modelado por um conjunto de camadas funcionais, unido por uma estrutura de controle de competência dirigida e uma base de conhecimento hierarquicamente compartilhada.

O trabalho discute a utilização da plataforma descrita, através da arquitetura de comunicação, apresentando o ambiente das conversações entre os agentes por meio da linguagem de comunicação, e de uma simulação no ambiente pré-hospitalar.

Palavras-Chaves: Plataforma, Multi-Agente, Sistema de Emergência, Atendimento.

Abstract

SILVA, Gilson Medeiros e. **Estrutura Multi-Agente para administrar um sistema de emergência.** 2002. 164f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

This work proposes a platform multi-agent to administer a System of Emergency, where the agents work in an autonomous and cooperative way to reach the people's objectives that need the service in potential, turning the execution of the most efficient, fast attendance and with quality.

The platform of the system is structured with base in the architecture InteRRaP, where the agent is modeled by a group of functional layers, united by a structure of control of driven competence and a base of knowledge shared hierarchically.

The work discusses the use of the described platform, through the communication architecture, presenting the atmosphere of the conversations among the agents by means of the communication language, and of a simulation in the ambient pré-hospitalar.

Key Words: platform, Multi-agent, Emergency System, Attend.

Sumário

Lista de Figuras	p.
Lista de Quadros	p.
Lista de Tabelas	p.
Lista de siglas	p.
1 INTRODUÇÃO	p.14
1.1 Objetivos	p.16
1.1.1 Objetivo geral	p.16
1.1.2 Objetivos específicos.....	p.16
1.2 Hipóteses	p.17
1.2.1 Hipótese central	p.17
1.2.2 Hipóteses subjacentes.....	p.17
1.3 Escopo do trabalho	p.18
1.4 Limitações.....	p.19
1.5 Estrutura do Trabalho	p.20
2 SISTEMA DE EMERGÊNCIA	p.21
2.1 As Fases de Operação em um Sistema de Emergência	p.25
2.1.1 Ocorrência do incidente	p.25
2.1.2 Detecção do incidente	p.25
2.1.3 Tentativa inicial de comunicação com a Central de Comando	p.26
2.1.4 Contato com a Central de Comando.....	p.26
2.1.5 Processamento das informações	p.26
2.1.6 Registro e conversão das informações.....	p.27
2.1.7 Remessa da informação para o Setor de Despacho de Viaturas.....	p.28
2.1.8 Despacho da Unidade de Emergência.....	p.28
2.1.9 Chegada na ocorrência.....	p.29
2.1.10 Encerramento do serviço	p.29
2.2 Controle do Atendimento das Emergências	p.33
2.3 A otimização nos serviços de emergência	p.37

2.4 Conclusão	p.39
3 SOLUÇÕES ENCONTRADAS PARA SISTEMA DE EMERGÊNCIA	p.40
3.1 Modelos de análise em sistema de emergência	p.42
3.2 Um modelo prático aplicado na proteção contra incêndio.....	p.65
4 TEORIA DE AGENTES.....	p.79
4.1 Histórico.....	p.81
4.2 Definições de Agentes	p.85
4.3 Atributos dos Agentes	p.87
4.3.1 Autonomia.....	p.87
4.3.2 Mobilidade.....	p.88
4.3.3 Cooperação.....	p.88
4.3.4 Comunicabilidade	p.88
4.3.5 Aprendizagem.....	p.89
4.3.6 Reatividade	p.89
4.3.7 Habilidade Social.....	p.89
4.3.8 Pró-atividade.....	p.89
4.3.9 Discurso	p.90
4.3.10 Inteligência.....	p.90
4.3.11 Coerência	p.90
4.3.12 Abstração.....	p.91
4.3.13 Planejamento	p.91
4.4 Tipologia de Agentes	p.91
4.4.1 Agentes Colaborativos	p.95
4.4.2 Agentes de Interface	p.95
4.4.3 Agentes Assistentes	p.96
4.4.4 Agentes de Recuperação de Informação	p.96
4.5 Comunicação entre Agentes	p.97
4.6 Arquiteturas de Agentes.....	p.102
4.6.1 Classificação de Arquiteturas	p.102
4.6.2 Arquitetura InteRRaP	p.103
4.6.3 Arquitetura proposta por Genesereth	p.105
4.7 Conclusão	p.107
5 O MODELO MULTI-AGENTE NO GERENCIAMENTO DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA.....	p.109

5.1 Definição do Modelo	p.110
5.2 Plataforma Multi-Agentes	p.111
5.2.1 Agente de Interface	p.112
5.2.2 Agente Consultivo.....	p.113
5.2.3 Agente Administrativo	p.115
5.2.4 Agente Zona.....	p.116
5.2.5 Agente Estatístico	p.117
5.2.6 Arquitetura do Sistema	p.118
5.2.6.1 Camada Interface.....	p.118
5.2.6.2 Camada Administrativa.....	p.119
5.2.6.4 Base de Conhecimento.....	p.120
5.3 A Administração do Sistema de Emergência	p.122
5.3.1 Arquitetura de Comunicação	p.123
5.3.2 Ambiente das Conversações	p.124
5.3.3 Exemplo das Conversações	p.125
5.4 Conclusão	p.130
6 APLICAÇÃO NO ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR.....	p.132
6.1 Ambiente de Simulação	p.132
6.2 Resultado da Simulação	p.134
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	p.137
7.1 Contribuições do Trabalho.....	p.138
7.2 Trabalhos Futuros	p.138
REFERÊNCIAS.....	p.141
APÊNDICE.....	p.150

Lista de figuras

Figura 1: Fluxograma do tempo resposta	p. 32
Figura 2: Crescimento da demanda e da capacidade com o tempo	p. 50
Figura 3: Evolução do excesso de capacidade	p. 51
Figura 4: Expansão da capacidade com demanda geometricamente	p. 53
Figura 5: Expansão da capacidade com demanda expandindo aleatoriamente com tendência de crescimento linear	p. 54
Figura 6: Expansão da capacidade com demanda expandindo aleatoriamente com tendência de crescimento geométrica	p. 55
Figura 7: Tipologia de Agentes	p. 93
Figura 8: Taxonomia de Agentes	p. 94
Figura 9: Exemplo de uma mensagem KQML	p. 101
Figura 10: Modelo do Agente InteRRaP	p. 104
Figura 11: Federação de agentes	p. 107
Figura 12: Estrutura genérica para o ambiente de emergência	p. 112
Figura 13: Estrutura básica do agente de interface	p. 113
Figura 14: Estrutura básica do agente consultivo	p. 115
Figura 15: Estrutura básica do agente administrativo	p. 116
Figura 16: Estrutura básica do agente zona	p. 117
Figura 17: Arquitetura em camada do sistema multi-agente	p. 118
Figura 18: Ambiente do arena	p. 133

Lista de quadros

Quadro 1: Tempo de resposta em sistemas de emergênciap.30

Quadro 2: Mensagens definidas na LMEp.126

Lista de tabelas

Tabela 1: Resultado da simulação do modelo	p. 135
--	--------

Lista de siglas

Siglas

ACL	Agent Communication Language
ANTP	Associação Nacional de Transporte Público
APH	Atendimento Pré-Hospitalar
DPS	Distributed Problem Solving
EMS	Emergency Medical Services
EMT	Emergency Medical Technican-basic
GCS	Glasgow Coma Scale
IA	Inteligência Artificial
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
KIF	Knowledge Interchange Format
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
KSE	Knowledge Sharing Effort
MAS	Multi-Agent Systems
TBI	Treatment of Traumatic Brain Injury
VKB	Virtual Knowledge Base

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possuía, em 1995, uma população de 152 milhões de habitantes, sendo que cerca de 120 milhões (79%) moravam em áreas urbanas. O crescimento da população urbana continua e estima-se que esta proporção atingirá 90% em 2010 (ANTP, 2000).

Uma das conseqüências mais sérias que acompanham a tendência à urbanização é o crescimento da pobreza urbana. As múltiplas dimensões da pobreza se manifestam nas situações críticas de emprego e renda, na falta de acesso aos serviços urbanos básicos, aos serviços sociais, à cultura, a um meio ambiente equilibrado e a uma vizinhança segura. Isto tem forçado os governos, a sociedade civil organizada e os cidadãos a procurarem formas de enfrentar o desafio que significa atender demandas urgentes em meio a um quadro de carência generalizada de recursos.

A cidade é um sistema complexo de relações que está em permanente mudança. A forma como o solo é usado e ocupado e as condições socioeconômicas dos habitantes determinam a quantidade e o tipo de deslocamentos necessários, que precisam ser atendidos utilizando a infra-estrutura viária e os veículos disponíveis. A gestão deste complexo sistema de relações requer a união de esforços entre Estado e sociedade, bem como a organização adequada da administração pública.

Nas grandes cidades, as áreas centrais têm toda sorte de usos e ocupações irregulares do solo feitas pelos setores de renda alta e média, principalmente no que diz respeito à transformação de edificações residenciais em comerciais, por outro lado, às áreas periféricas são ocupadas por setores de baixa renda, com deficiência na oferta de escolas, hospitais, transporte público, e geralmente levando a graves problemas ambientais relativos à erosão do solo, coleta de esgotos, de lixo e de saneamento público geral. Na realidade, a anistia a estas ocupações irregulares é freqüente, resultado de pressões tanto dos setores de renda alta, quanto dos setores de baixa renda. Outra conseqüência desta forma de desenvolvimento urbano é que ainda existe pouco controle sobre o crescimento e o uso da cidade, o que leva a maiores distâncias de transportes, deficiência de ruas, falta de água potável e

ineficiência energética.

Crescentemente, os cidadãos estão demandando mais serviços urbanos, por tipo, quantidade e qualidade. A pressão resultante, entre às demandas por mais e melhores serviços, por um lado, e os recursos alocados diminuídos, por outro lado, têm criado uma forte necessidade de melhorar a administração dos sistemas dos serviços urbanos. Essa administração pode ser mais eficiente através da melhor alocação e geração dos recursos, que inclui pessoal, equipamento e a tecnologia empregada para esse serviço. Desse ponto de vista, a tecnologia empregada pode ajudar os administradores a uma tomada de decisão para melhorar os serviços urbanos.

Diante desse ambiente complexo e sujeito à violência urbana, perigos tecnológicos e desastres naturais que os cidadãos estão enfrentando nas grandes cidades, é necessário um novo esforço na organização e no melhoramento dos serviços de emergência. Polícia, Corpo de Bombeiros e Ambulâncias para os atendimentos pré-hospitalar são serviços disponíveis nas cidades, tendo como finalidade prover os cidadãos com rápidos e eficientes sistemas de atendimento em situações de emergência.

Fornecer estes serviços para a população é uma das principais responsabilidades dos governos. Os custos para mantê-los são consideráveis e o agravamento da situação financeira em quase todos os níveis de administração pública tem ocasionado diminuição no fluxo de verbas para estes setores, com a conseqüente redução, na maioria dos casos, da qualidade dos serviços oferecidos. Os custos de um serviço insatisfatório se estendem além dos custos monetários, incorporando muitos custos sociais de difícil quantificação, porém de suma importância. Na organização e no melhoramento dos sistemas de atendimento de emergência, vários fatores influenciam. Além de investimento e recursos financeiros aplicados que são escassos, o planejamento e a administração desses serviços são fatores preponderantes na rapidez e eficiência do mesmo.

Necessário torna-se, portanto, que sejam estudadas alternativas e propostas soluções para elevar o nível dos serviços de emergência, com o desenvolvimento e interpretação de modelos matemáticos para a operação dos sistemas onde as probabilidades de ocorrência de chamadas, tempo de resposta, expansão de capacidade, custos e outros fatores sejam introduzidos, avaliando-se os efeitos das várias opções de ação.

Em busca de administrar melhor esses serviços, surge um paradigma, que com certeza vai dar rapidez e eficiência ao mesmo, a tecnologia dos Agentes Inteligentes, a qual tem como objetivo executar tarefas complexas, de forma autônoma e inteligente.

Na abordagem da tecnologia de Agentes Inteligentes, a Inteligência Artificial (IA) é vista como o estudo e a construção de agentes racionais. Nesse sentido a IA tem duas vantagens. Primeira, é mais geral que a abordagem "leis do pensamento", porque inferência correta é só um mecanismo útil para alcançar a racionalidade, e não um mecanismo necessário. Segunda, é mais acessível ao desenvolvimento científico do que abordagens baseadas em comportamento ou pensamento humano, porque o padrão de racionalidade é definido claramente e é completamente geral. Comportamento humano, por outro lado, é bem adaptado para um ambiente específico e é o produto, em parte, de um processo evolutivo complicado e largamente desconhecido que ainda pode estar longe de alcançar a perfeição.

A utilização da tecnologia dos Agentes Inteligentes vai possibilitar que a administração do sistema de emergência seja completamente automatizada. Permitindo a divisão de trabalho, e que as tarefas tais como: o atendimento à população, a divisão da cidade em setores de abrangência de cada unidade de emergência, o adionamento de nova unidade de emergência e o diagnóstico estatístico do sistema como um todo, sejam de forma integrada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Modelar uma estrutura multi-agente para administrar um sistema de emergência, onde a demanda está distribuída espacialmente em toda área de atuação do sistema.

1.1.2 Objetivos específicos

- construir uma arquitetura apropriada que permita aos agentes administrar o sistema de emergência;
- escolher a sociedade de agentes para administrar esse sistema;

- definir a política de despacho de cada unidade de emergência;
- distribuir as responsabilidades de cada agente no sistema;
- identificar o setor de abrangência de cada unidade de emergência.

1.2 Hipóteses

Partindo da premissa que com a Inteligência Artificial, através da tecnologia dos agentes inteligentes, é possível a construção de uma estrutura completamente automatizada para administrar um sistema de atendimento de emergência formularam-se as seguintes hipóteses:

1.2.1 Hipótese central

É possível utilizar uma modelagem para estruturar uma sociedade de agentes que administram um sistema de atendimento de emergência, levando em consideração a divisão do trabalho em função das atribuições dos referidos agentes.

1.2.2 Hipóteses subjacentes

Podem-se formular como hipóteses subjacentes:

- a identificação das responsabilidades de cada agente no sistema dependem de suas tarefas e interações;
- existem características marcantes nos agentes que dependem de suas atribuições;
- as decisões dos agentes se modificam dependendo da situação do atendimento emergencial;

1.3 Escopo do trabalho

Considerando os objetivos a serem alcançados e a necessidade de melhorar o atendimento, a eficiência e a rapidez nos serviços de atendimento emergencial, desenvolveu-se a modelagem da estrutura de uma sociedade de agentes para administrar um sistema de emergência.

A questão não é implementar um sistema de emergência, mas a elaboração de um ambiente baseado em agentes inteligentes que possa ser utilizado como ferramenta de apoio durante o processo de tomada de decisão. Nesse sentido, este trabalho vem apresentar uma plataforma que possa englobar algoritmos exatos e aproximados, como também várias heurísticas propostas no controle do atendimento das emergências, na alocação espacial e temporal das unidades de emergência, para o desenvolvimento de agentes de software que possibilite a interação e o trabalho cooperativo entre os agentes, os humanos, e entre os próprios agentes.

A utilização de uma estrutura multi-agente para administrar o sistema de emergência torna-se a principal contribuição desse trabalho. Essa estrutura estabelece uma metodologia completamente automatizada, onde os agentes estão interagindo entre si, dividindo a complexidade do problema.

Outra importância dessa metodologia é oferecer uma rede pública segura de serviços de emergência a população com mais rapidez e eficiência em função da otimização da frota das unidades de emergência, como também a melhoria da infraestrutura dos serviços.

Atenção prioritária deste trabalho está voltada para a otimização do tempo resposta para as chamadas emergenciais, pretendendo-se distribuir as unidades de emergência espacial e temporalmente a fim de fornecer à população um serviço razoável, dentro da disponibilidade financeira compatível com a realidade do País. A especificação dos equipamentos e viaturas será tratada de forma menos abrangente, ficando seu aprofundamento como recomendação para próximos estudos.

1.4 Limitações

Um sistema de emergência para ter um atendimento rápido, eficiente e de boa qualidade depende de várias áreas de conhecimento, como por exemplo: modelagem, transporte, inteligência artificial, estatística, matemática, medicina e outras, apresentando assim sua complexidade. Devido essa dependência, o trabalho apresenta limitações que são traduzidas através das propostas de trabalhos futuros.

Na simulação do ambiente de atendimento pré-hospitalar utilizando a plataforma proposta nesse trabalho, mostra as limitações inerentes ao sistema através dos seguintes pontos:

- A modelagem dos agentes de Interface não traduz a sua complexidade apresentada na estrutura multi-agente.
- Os agentes consultivos não foram modelados devido a sua complexa estrutura como também depende de outras instancias do sistema.
- Os objetivos e metas do agente administrativo nesse ambiente de simulação como um todo, não foram modelados devido à cooperação e interação com os outros agentes.
- O agente zona não foi modelado, porque a área de atendimento foi dividida a priori em dois setores.
- A modelagem do agente estatístico nessa simulação também não abrange seus objetivos e metas como proposto no modelo.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em sete capítulos. No primeiro, são apresentados uma introdução, os objetivos, a importância e sua estrutura.

O segundo capítulo tem como objetivo relatar os principais fatores que podem contribuir na elaboração de um bom atendimento e da prestação dos serviços de emergência. Esse estudo engloba os seguintes aspectos: o controle do atendimento das emergências e/ou urgências, o problema da localização espacial e temporal das facilidades.

No capítulo 3, são mencionados estudos relativos à otimização de serviços de emergência em função das duas grandes vertentes. A primeira se voltou para a pesquisa de localização e distribuição espacial de unidades de serviço em uma determinada área. A segunda se preocupou com a expansão da capacidade destes serviços em função do crescimento temporal da demanda.

No quarto capítulo refere-se aos agentes inteligentes. É feita uma descrição na evolução da teoria de agentes, várias definições de agentes inteligentes em função dos objetivos dos diversos trabalhos, as propriedades que um agente deve ter para ser considerado inteligente, a noção e definição de uma agência, classificação dos agentes inteligentes em vários níveis, apresentam os tipos de arquiteturas e alguns exemplos dessas arquiteturas de agentes, relacionam algumas técnicas na construção de agentes, as linguagens utilizadas, algumas aplicações e a conclusão.

O quinto capítulo refere-se a proposta de trabalho. Em função dos vários problemas relacionados com a proposta de estudo, é estruturada a sociedade multi-agente através de suas responsabilidades, interações, comunicabilidade e autonomia.

No sexto capítulo é feita uma simulação para o ambiente do atendimento pré-hospitalar, onde são modelados os agentes.

No sétimo capítulo são enfocada às vantagens da utilização dessa estrutura, as contribuições do trabalho e os trabalhos futuros.

2 SISTEMA DE EMERGÊNCIA

O fato que os serviços de emergências são necessários em qualquer aglomeração humana e que cuja evolução no Brasil, bem como os estudos para otimização de sua operação, vem se desenvolvendo de forma lenta e incompatível com as necessidades de preservação da vida e da segurança dos bens materiais existentes no País. Verifica-se que os esforços em busca de modernizá-lo são quase sempre, isolados, descoordenados e, conseqüentemente, de pouca eficiência e eficácia, considerando-se seu contexto global.

Um dos instrumentos de que dispõem os países desenvolvidos na área de segurança são planos para distribuição das unidades de atendimento emergencial de modo a cobrir de maneira relativamente uniforme toda à área onde existam concentrações humanas, assim como de regulamentos específicos de segurança bastante abrangentes e aplicados em nível nacional. É necessário, entretanto, que existam regras claras e bem definidas para distribuir as unidades de atendimento pela região de estudo, de modo que o maior número possível de pessoas tenha acesso ao serviço, a um custo razoável, custo esse que pode ser expresso em termos de tempo resposta, distância a percorrer e prejuízos materiais (SOUZA, 1996).

Ocorre que, nos países em desenvolvimento à expansão da economia e desenvolvimento regional variam significativamente ao longo do tempo, havendo épocas de forte crescimento e fases de relativa estagnação. Planejar a implantação de serviços de atendimento emergencial que envolve investimentos elevados passa a ser uma tarefa crítica. O aperfeiçoamento de técnicas de previsão e de alocação ótima de recursos constitui desta forma um desafio para os planejadores e administradores (SOUZA, 1996).

Conforme Souza (1996), para se projetar um sistema de atendimento de emergências depara-se com dois fatores independentes que fazem parte, porém, dos mesmos problemas:

1. “Onde” localizar as facilidades, ou seja a alocação espacial, que depende basicamente da distância, tempo resposta, custo monetário, etc., para atender a

uma determinada demanda. A alocação espacial é importante para assegurar que a área de estudo esteja coberta de maneira homogênea pelo serviço que se pretende oferecer. Assim qualquer ponto da região teria disponível, num determinado espaço de tempo ou distância, pelo menos uma unidade de emergência que poderia atendê-lo em caso de emergência.

2. “Quando” expandir o número de facilidades, que depende da variação da demanda ao longo do tempo, representando a alocação temporal. O crescimento da demanda para serviços emergenciais apresenta uma tendência de crescimento em função do aumento da população, número de empregados, renda, etc. Assim, com o passar do tempo, as facilidades instaladas passam a não ter mais capacidade para atender de maneira satisfatória a todos os chamados devido ao acúmulo de serviços. É imprescindível, portanto, que, caso se deseje manter o mesmo nível de serviço, para que o número de facilidades disponíveis também se expanda com o tempo. Os períodos entre as expansões devem ser, por isso, previstos com antecedência a fim que se possam alocar os recursos necessários e se construir as novas instalações antes que o sistema fique saturado.

Além disso, nos países em desenvolvimento, normalmente existem carências de estatísticas confiáveis que levem a uma função matemática razoavelmente precisa e que possa ser utilizada de forma direta. Quase sempre se torna necessário a utilização de fatores indiretos, relacionados de alguma forma com o problema. Os métodos da teoria da decisão são ferramentas que podem ser utilizados para a análise, nos quais diversos cenários alternativos são associados às respectivas probabilidades, tornando possível determinar o perfil mais provável da demanda, juntamente com a sua variação probabilística (SOUZA, 1996).

O Sistema de Emergência pode ser caracterizado como a composição dos problemas de Controle do Atendimento, Localização Espacial e Temporal das Facilidades.

O controle do atendimento é em potencial a fase mais importante do sistema, pois aqui a pessoa que atende e despacha as unidades de emergência tem um papel preponderante, pois terá que ter o bom senso e rapidez para analisar o pedido, e ser compreensivo como as pessoas, como também ter um bom

conhecimento sobre medicina para poder classificar os sintomas dos pacientes e transmitir aos prestadores do serviço o estado atual do paciente, além do endereço, do local e da cena. Algumas diretrizes de senso comum podem ser aplicadas quando for avaliar cada situação. É importante que todo caso do qual precise de emergência receba-o sem demora, e que os pacientes com a situação mais grave sejam transportados imediatamente para um hospital e receba cuidados definitivos com maior urgência.

Uma abordagem interessante é representar o Sistema de Emergência como uma rede cujos os nós representam os cruzamentos e cujos os arcos representam as avenidas e ruas da malha viária definido por um grafo. Administrar tal rede de forma mais eficiente e eficaz, requer divisão de trabalho, que pode ser feita através da divisão da cidade em setores de abrangência ou *clusters* para cada unidade de emergência, a alocação espacial e temporal eficiente e que tenha uma política de despacho eficaz quando a unidade de emergência do setor esteja ocupada. É importante ressaltar para que esse sistema funcione dessa forma integral, o mesmo precisa de um centro de comunicação.

Uma característica marcante que impera em um sistema de emergência é o tempo gasto na prestação da emergência e/ou urgência, que inclui o tempo de viagem do hospital para o local do incidente, mais o tempo gasto no local para o atendimento do paciente ou o resgate do mesmo e mais o tempo de viagem de volta ao hospital se for necessário.

Outra importante característica em um sistema de emergência é que as demandas são responsivas no sentido que os pedidos de emergência e/ou urgências tornam-se disponíveis em tempo real e são imediatamente atendidos através de cada unidade de emergência.

No sistema de emergência, como em outros sistemas de transporte, existe desequilíbrio espacial no fluxo das emergências e/ou urgências. Alguns bairros ou regiões da cidade demandam mais emergências e/ou urgências do que outros. Uma consequência direta desse desequilíbrio é que certas unidades de emergência ficam sobrecarregadas enquanto outras ficam ociosas, comprometendo a eficiência e a qualidade do serviço prestado. O problema do desequilíbrio é agravado pelo fato que o número de unidades de emergência é pequeno em relação à população da qual potencialmente será atendida e os locais dos mesmos são fixados, fazendo que os setores de abrangência das unidades de emergência sejam razoavelmente

grandes. Analisando um sistema de emergência sob esse ponto de vista, ele pode ser focado como o problema de localização espacial e temporal das facilidades.

Um processo de planejamento eficiente na prestação do serviço é de grande importância nesse sistema. Eficiência pode ser medida em termos do número total de unidades de emergência necessárias no sistema e como elas são utilizadas para satisfazer a demanda do cliente, que pode ser medida em função do tempo gasto na prestação da emergência como um todo. O tamanho da frota das unidades de emergência e seus relacionamentos fazem parte do planejamento tático. A alocação espacial e temporal das facilidades, e a divisão da cidade em setores fazem parte do planejamento estratégico, enquanto o controle dos pedidos de emergências e/ou urgências fazem parte do planejamento operacional na administração do sistema.

Segundo Larson e Odoni (1981), o sistema de emergência é analisado como um sistema de fila espacialmente distribuída, onde a unidade de emergência está estacionada em um local fixado e os clientes estão dispersos geograficamente por toda a cidade. Assim sendo, ele não adere ao quadro clássico dos sistemas de filas onde os clientes fazem filas em frente de um servidor fisicamente estacionário para ser atendido. Nesse sistema “as chegadas dos clientes” se dá através de chamadas telefônicas dispersas por vários locais da cidade. A concepção de fila nesse sistema no sentido do cliente esperar para ser atendido, raramente acontece. Contudo, a teoria de fila é muito importante no planejamento desse sistema, como por exemplo na determinação do número de unidades de emergência necessárias, a carga de trabalho esperada das unidades de emergência, ou o melhor desenvolvimento das unidades de emergência em uma cidade.

O nível de atendimento, eficiência e eficácia, determinarão os parâmetros para o dimensionamento dos serviços de emergência. No caso do atendimento médico pré-hospitalar estes parâmetros são representados principalmente pelo **tempo de resposta** às chamadas e pelo **equipamento disponíveis** para o atendimento das pessoas. Estes parâmetros, evidentemente, estão intimamente relacionados e dependentes entre si. Não existe razão para se chegar em um atendimento de emergência em tempo hábil e não ter os equipamentos para socorrer a vítima; assim como, os mais modernos equipamentos são totalmente inúteis se chegar ao local do incidente quando a vítima já faleceu devido ao tempo de resposta demasiadamente longo.

Urge que procedam estudos e pesquisas de modo a se balancear estes fatores, possibilitando que chegue ao local da ocorrência num tempo razoável, dispondo-se de um número de homens e equipamentos adequados para atendê-la convenientemente.

Este capítulo tem como objetivo relatar os principais fatores que podem contribuir na elaboração de um bom atendimento e da prestação dos serviços de emergência.

2.1 As Fases de Operação em um Sistema de Emergência

Conforme Souza (1996), a seguinte seqüência descreve as várias fases de uma operação de emergência, desde quando é ativada através de uma solicitação de socorro, até a saída de cena da unidade que atendeu a chamada, no término do serviço no local da ocorrência.

2.1.1 Ocorrência do incidente

Considerar que num tempo $t = 0$ um incidente ocorre, pode ser um incêndio, um acidente de trânsito, um desabamento, ou uma outra situação de perigo, requerendo uma equipe de atendimento de emergência no local.

2.1.2 Detecção do incidente

Num tempo t_1 o incidente é detectado por um cidadão ou por um mecanismo de alarme, que reporta a ocorrência a uma central de operações. O informante pode ser uma vítima envolvida no problema ou uma testemunha que, em geral procura um aparelho telefônico nas proximidades ou algum outro meio de reclamar socorro, ou um sistema de alarme automático ou, ainda, um policial que eventualmente esteja patrulhando a área.

Particularmente, com respeito a esta última possibilidade, é importante salientar que a patrulha policial pode entrar em contato com a central de comando mais rapidamente via rádio e mantê-la informada de todos os estágios do serviço.

Algumas vezes o incidente pode demorar a ser detectado e, como conseqüência, as unidades de socorro podem chegar ao local da chamada muito

tempo após aquele ter se iniciado, o que pode representar um agravamento na situação de feridos, perdas de vidas e elevados danos materiais.

2.1.3 Tentativa inicial de comunicação com a Central de Comando

Num tempo t_2 o informante procura contatar a central de comando. No caso de um cidadão comum (própria vítima ou testemunha), o atraso $t_2 - t_1$ pode depender da proximidade de um telefone público ou particular disponível no local. Se a detecção é feita por um sistema automático, este atraso poderá ser desprezado, desde que este sistema esteja em contato direto com a central de atendimento. Quando não existe um telefone próximo, o informante é obrigado a deslocar-se até um ponto onde possa se comunicar com a central de comando, o que também pode representar um atraso significativo na chegada das unidades de emergência.

2.1.4 Contato com a Central de Comando

A chamada é completada num tempo t_3 . Para o caso de um cidadão chamando via telefone, a demora $t_3 - t_2$ representa o tempo de espera até que a ligação seja completada e o telefone atendido. Tal demora é particularmente inconveniente porque a prioridade de atendimento da chamada não pode ser determinada antes de uma conversação inicial com a pessoa que ligou.

Além disso, constata-se que chamadas originadas a partir de situações de pouca emergência requerem duas ou três vezes mais tempo de conversação no telefone que uma ligação urgente. Isto contribui grandemente para a saturação das centrais telefônicas e, eventualmente, uma chamada emergencial pode encontrar todas as linhas telefônicas da central de comando ocupada, necessitando aguardar um período de tempo até que possa ligar novamente.

2.1.5 Processamento das informações

A atividade de registrar e interpretar a informação comunicada é completada pelo pessoal do centro de comando num tempo t_4 .

Quando o cidadão chama via telefone, o atendente, na central, deve solicitar mais informações sobre o incidente (por exemplo: tipo e endereço da ocorrência,

nome dos envolvidos, nome do solicitante e outras.) e classificar a prioridade da chamada. Se o atendente entender que o incidente não requer o despacho de uma viatura de emergência para atendê-lo, ele pode escolher entre terminar a chamada neste momento ou transferi-la para um outro setor especializado em situações não emergenciais ou, ainda, para algum outro departamento que possa resolver o problema do solicitante.

A importante decisão se o solicitante necessita ou não da assistência de uma viatura de emergência, envolve uma alta probabilidade de erro. De um lado, vários casos têm sido reportados, nos quais o requerente realmente necessita de um atendimento urgente, mas o atendente resolveu cancelar a chamada ou atribuir baixa prioridade à mesma. O custo de tal decisão incorreta pode incluir vários prejuízos, tais como a perda de patrimônio ou até mesmo a perda de vidas humanas. Por outro lado, se todas as chamadas fossem atendidas com uma viatura de emergência, em pouco tempo todas as unidades estariam indisponíveis e o serviço completamente saturado. Caso ocorra uma situação de real urgência, pode não haver viaturas disponíveis para o atendimento.

No caso do incidente ter sido informado via rádio por uma patrulha policial, o tempo de coleta de informações é normalmente bem inferior ao tempo correspondente gasto por um civil.

2.1.6 Registro e conversão das informações

O endereço da ocorrência deve ser convertido num código que orientará o despacho da equipe de socorro. Esta atividade se completa num tempo t_5 .

Num sistema manual esta atividade é processada após o término da conversa telefônica. A orientação para endereçamento da viatura, usualmente utiliza uma tabela com as orientações de operação, após o que a informação é registrada num boletim de ocorrências. Este boletim é então levado ao setor de despachos dos veículos. O atraso $t_5 - t_4$ é decorrente do tempo entre o momento que o telefonista inicia o processamento da informação até quando passa a enviá-la para a seção de viaturas.

Num sistema semi-automático, o telefonista já pode ir digitando num terminal de computador as informações simultaneamente com o atendimento da chamada. Um programa provido de razoável flexibilidade vai, concomitantemente, fornecendo

vários dados sobre a localização do incidente, por exemplo, viatura mais próxima, hidrante urbano na região, pontos de referência para localização e outros. Neste caso o tempo $t_5 - t_4$ sofre uma acentuada redução.

2.1.7 Remessa da informação para o Setor de Despacho de Viaturas

A informação transmitida pelo telefonista chega no setor de despacho num tempo t_6 . O tempo $t_6 - t_5$ é a demora entre a remessa da informação e o recebimento da mesma no setor de despacho.

Normalmente esta informação é transmitida logo em seguida ao soar de um alarme, quando as guarnições se posicionam nos veículos e, então, recebem as devidas instruções via rádio. Caso não exista nenhuma viatura disponível, a ocorrência entra numa fila de espera até se dispor de um veículo para atendê-la. A possibilidade de acontecer esta fila de espera, em regiões que possuam mais de uma equipe ou guarnição para atendimento de emergência, pode ser reduzida programando-se um esquema de ajuda mútua, no qual, caso a equipe responsável por um distrito não esteja disponível por estar atendendo uma chamada e ocorra um outro incidente neste distrito, equipes de outras áreas podem ser designadas para cobrir este segundo acidente.

2.1.8 Despacho da Unidade de Emergência

A solicitação é atendida, ou seja removida da fila de espera, num tempo t_7 . O responsável pelo setor de despachos seleciona uma unidade para o atendimento do incidente e, através do sistema de rádio, envia as características referentes ao mesmo, tais como o endereço, a natureza do incidente, os pontos de referência para localização e outras informações pertinentes ao caso.

A guarnição da viatura recebe as instruções e pode solicitar dados adicionais. Esta atividade é completada num tempo t_8 . O intervalo $t_8 - t_7$ representa o tempo entre a decisão de enviar uma dada viatura e esta efetivamente partir para o incidente.

2.1.9 Chegada na ocorrência

A viatura atribuída para responder a ocorrência se desloca numa velocidade que reflete a urgência da chamada, chegando no local num tempo t_9 . O intervalo $t_9 - t_8$ representa o tempo de viagem da viatura.

Durante períodos sem congestionamento de chamadas, o tempo de viagem é tipicamente o maior componente do tempo resposta ($t_9 - t_3$). Depende da qualidade da informação recebida sobre a localização do incidente, da urgência da chamada, da distância, da habilidade do motorista, das condições das vias, do tráfego e de muitos outros fatores.

2.1.10 Encerramento do serviço

Num tempo t_{10} , a unidade de socorro enviada completa o serviço e comunica que está disponível para novas ocorrências. O tempo total de atendimento depende fundamentalmente do tipo de incidente e também dos serviços adicionais, tais como prisão de um suspeito, remoção de uma vítima em estado grave para um hospital ou rescaldo de um incêndio. Em alguns casos estes serviços adicionais são prestados por outras viaturas deslocadas posteriormente para o local enquanto o veículo que prestou o primeiro atendimento retorna ao quartel ou é destinado para outra ocorrência, dependendo da necessidade.

Um sumário do típico processo de tempo resposta para atendimento de ocorrência que necessita de viaturas de emergência é mostrado no quadro 1.

Quadro 1: TEMPO DE RESPOSTA EM SISTEMAS DE EMERGÊNCIA

Tempo	Definições
t_1	Tempo necessário para detecção do incidente
$t_2 - t_1$	Tempo entre a detecção inicial e a primeira tentativa de contato com a central de controle
$t_3 - t_2$	Tempo entre a primeira tentativa e o sucesso do contato (tempo de espera para completar a ligação, no caso de um telefonema)
$t_4 - t_3$	Tempo de diálogo com o solicitante, necessário para reunir as informações sobre o incidente
$t_5 - t_4$	Tempo para processar as informações
$t_6 - t_5$	Tempo para transmitir a informação para o setor de despachos
$t_7 - t_6$	Atraso na fila de espera
$t_8 - t_7$	Tempo de decisão do setor de despacho sobre a viatura a ser enviada e tempo para prestar as informações iniciais via rádio
$t_9 - t_8$	Tempo de viagem
$t_{10} - t_9$	Tempo de serviço na ocorrência
$t_9 - t_3$	Tempo resposta

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Na prática o tempo de viagem $t_9 - t_8$ corresponde ao fator de maior ponderação no somatório de todos os tempos que compõem o tempo resposta ou, em outras palavras, da demora do atendimento de uma chamada de emergência, sendo que, na maioria dos casos, ele ainda é acrescido pela dificuldade de se localizar com rapidez o local do incidente. O mesmo depende de vários fatores tais como existência de vias adequadas, condições de tráfego, tipo de veículo disponível, obstáculos e outros, porém depende principalmente da distância entre o incidente e a base da unidade de emergência.

As unidades de emergência devem ser distribuídas na região de estudo de maneira que esta distância, por ser o elemento mais importante para formação do tempo de viagem, seja a menor possível.

No Brasil, para o caso do atendimento médico pré-hospitalar, às ambulâncias têm como base os pátios dos hospitais públicos onde ficam estacionadas na espera de uma chamada. No caso do Corpo de Bombeiros, todas as viaturas são mantidas aquarteladas em poucos pontos das cidades. Além disso a distribuição espacial tanto para as ambulâncias como para as viaturas, quando existem, normalmente não é efetuada com base em critérios racionais com o objetivo de otimizar o sistema.

Necessário, torna-se portanto, que sejam propostas metodológicas para reduzir o tempo resposta até um nível aceitável, distribuindo-se as unidades de emergência de modo que toda a região em estudo tenha um nível de proteção adequado.

Na figura 1, Souza (1996) apresenta um fluxograma com a seqüência das diversas fases de uma operação de atendimento de emergência padrão.

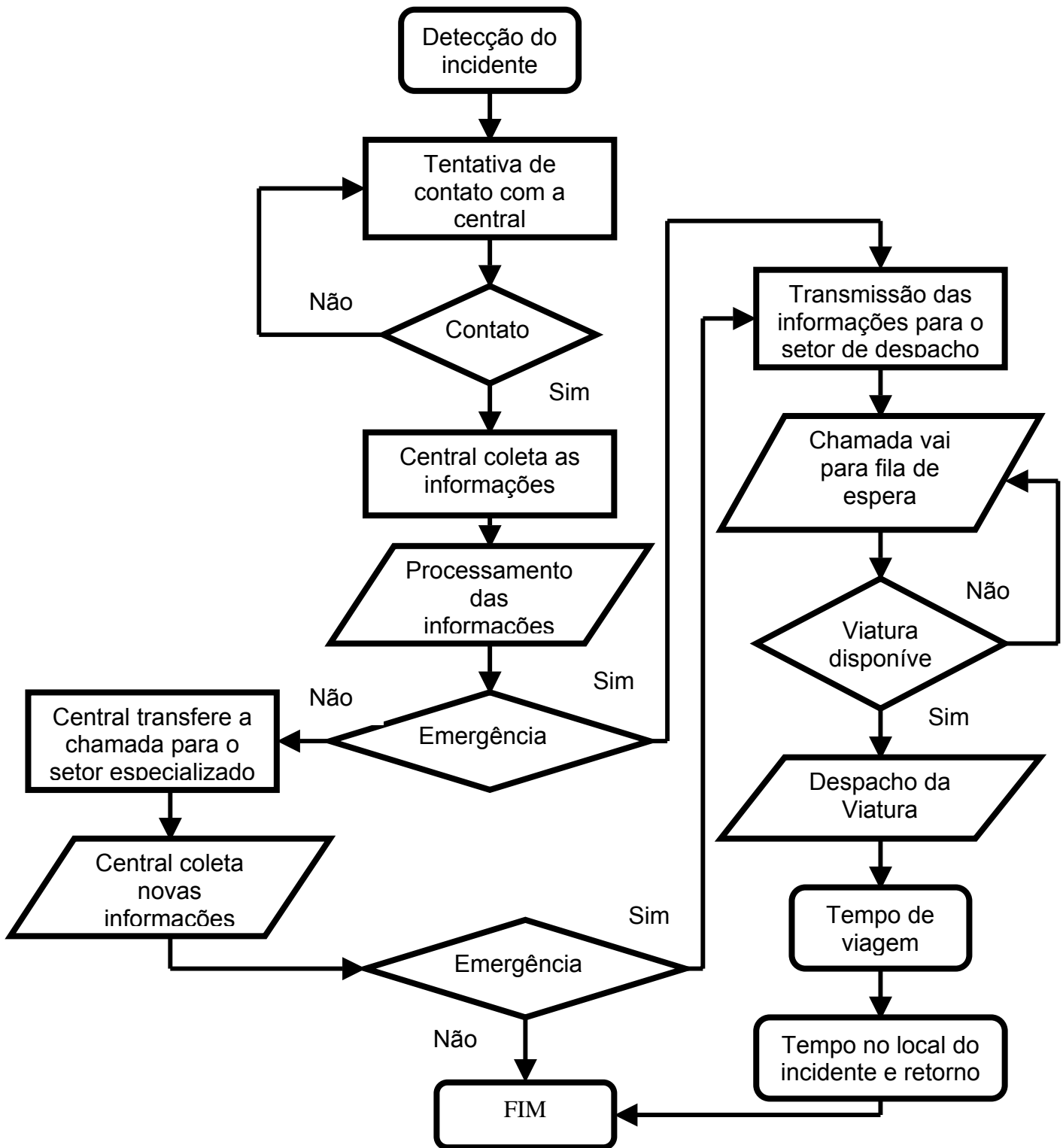


Figura 1: Fluxograma do tempo resposta

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

2.2 Controle do Atendimento das Emergências

Nessa fase é muito importante quando a pessoa que faz o atendimento no sistema e que despacha as unidades de emergência, já tenha sido treinada e tenha procedimentos operacionais padrão para seguir os protocolos já definidos com clareza e muita eficiência, pois à prestação do serviço de qualidade começa com um bom atendimento. Aqui é onde se define se o pedido é de emergência ou não, o local do incidente, o tamanho da gravidade da emergência, o estado atual das vítimas, qual unidade de emergência é enviada e que tipo de unidade de emergência melhor se ajuste aquela situação.

Para considerar que o pedido é de emergência ou não, tem de se basear em algumas perguntas que serão feitas às pessoas as quais estão pedindo por socorro, em parâmetros preestabelecidos nos protocolos, conhecimentos adquiridos através de seu treinamento e bom senso.

No atendimento de emergência o tempo é fator crucial. Esse espaço de tempo, conhecido como tempo-resposta, mesmo sem ser interpretado de forma semelhante em diversos países, é um dos principais indicadores da eficiência de um serviço de emergência. É um indicador de estratégia administrativa, das mais simples às extremamente complexas, e não uma mera questão de velocidade da unidade de emergência. A análise criteriosa do tempo-resposta tem fornecido ao administrador os melhores instrumentos para a tomada de decisão na busca de um sistema cada vez mais eficiente (EID, 2001).

Em serviço de Atendimento Pré-Hospitalar (APH), um minuto a mais na chegada do socorro pode tornar irreversível uma parada cardíaca, uma hemorragia pode atingir níveis críticos e uma hipóxia pode lesar o cérebro em definitivo. Em cada minuto que se abrevia o início do socorro vidas serão salvas, seqüelas reduzidas e o custo final do atendimento hospitalar e do tratamento do paciente serão menores. Eid (2001) analisa o tempo-resposta com as seguintes visões:

1. Tempo-resposta para os serviços de emergência, que é considerado o intervalo entre o momento em que a central de comunicação recebe a informação e a chegada da equipe de socorro ao local da emergência.
2. Tempo-resposta para a vítima, que sob a ótica da fisiopatologia e evolução das lesões, o tempo que mais importa é o transcorrido entre a instalação do agravo à

saúde e o início das ações de socorro junto à vítima. Esta soma é que define se a assistência foi prestada em um tempo suficiente para permitir seu real socorro.

3. Tempo de comprometimento da equipe e da ambulância, é contado do início do acionamento da ambulância até a informação de que a equipe está pronta para nova ação. Ele é crítico para o dimensionamento de um sistema. Quanto maior for o tempo de comprometimento, mais ambulâncias e equipes serão necessárias para cobrir uma mesma região.

Na visão do autor, o tempo-resposta não pode ser uma mera questão de velocidade do veículo, e sim de competentes, estratégias e técnicas administrativas que refletem o estágio de desenvolvimento em que se encontra o APH. Apesar de, em seu conjunto, se objetivar a redução total do tempo de atendimento, as ações mais significativas e que devem ser as prioritárias, são as que visam a rápida colocação de uma equipe de atendimento capaz e bem equipada junto à vítima, seu transporte seguro e uma perfeita integração com os hospitais que deverão recebê-la. Ele analisa as variações que o tempo-resposta pode sofrer em 19 etapas.

Na comunidade EMS (*Emergency Medical Services*), os despachantes incluem informação da doença do paciente habitualmente nas suas comunicações com os prestadores das emergências. À maioria das agências entendem que às confidências do paciente devem ser protegidas, assim elas adotam políticas que pedem o uso de códigos. Muitos membros da comunidade de resposta de emergência questionam o decoro de compartilhar informação da doença sobre os pacientes. Esse tipo de informação estaria incluído em despachos de emergência? Adicionalmente, partidários desta política discutem, se os prestadores das emergências têm o direito de saber o estado da doença dos seus pacientes e assim eles podem se protegerem, e a confidência do paciente está assegurada desde que um código foi usado para identificar o estado do paciente. Enquanto este argumento básico pode ser válido, há muitos fatores adicionais pelos quais devem ser considerados para aqueles que desenvolvem uma política legalmente defensável neste assunto. Qualquer política de despacho tem de levar em conta que os pacientes têm um direito a privacidade (CROSS, 1997).

“Despachantes de sistema de emergência médica não serão somente recebedores de informações e nem tão pouco telefonistas, eles podem fornecer ajuda adicionais tanto aos pacientes como aos prestadores de emergências,” diz

Sewell (*apud* NORDBERG, 1998, p.2).

“Se protocolos claros, eficientes e competentes são colocados em lugar que permite aos despachantes responderem a cada tipo de emergência com padrão, instruções predeterminadas e responsabilidade, os custos legítimos podem realmente ser reduzidos,” diz Salafia (*apud* NORDBERG, 1998, p.2).

Durante anos, a maioria dos estudiosos de EMS ignorou a documentação de cuidado ao paciente. Conseqüentemente, muitos EMT (*Emergency Medical Technician-basic*) e paramédicos não escrevem relatórios de cuidado ao paciente que forneça a documentação adequada. Isto é especialmente verdade no âmbito de cuidado à saúde em constante mudança, onde os provedores de EMS estão achando que estão sendo examinados mais do que antes. A maioria das formas de relatório de cuidado ao paciente usa uma série de campos que contêm respostas predeterminadas. A resposta mais apropriada em cada categoria é selecionada pelo EMT ou paramédico, também fornecem informações adicionais que são específicas ao paciente individual. Estas duas áreas que compõem o relatório, contêm dados que às vezes é rotulado como o conjunto mínimo de dados. Quando corretamente preenchido, fornece o estado atual da condição pré-hospitalar do paciente, o tratamento e a resposta ao tratamento. O conjunto mínimo de dados pode às vezes ser dividido em duas categorias: administrativo e relacionado ao paciente. O conjunto de dados administrativo fornece informação geral sobre a chamada de ambulância e é às vezes usado para fornecer a análise estatística do sistema de serviço médico de emergência. O conjunto de dados relacionado ao paciente, fornecem dados específicos relativo ao estado do paciente (ANDERSON, 1999).

Cada agência adota seu próprio critério de aprovação e/ou negação de emergência baseado em necessidade médica. Nessa linha de raciocínio e utilizando a documentação preparada pelo pessoal do sistema, procura-se atender a todos os clientes em potencial de maneira rápida e eficiente. A documentação utiliza alguns parâmetros para ajudar o despachante de ambulância em classificar se um pedido é realmente uma emergência. Com esses cuidados, o sistema funciona de maneira mais coerente e racional. Obviamente, ninguém pode listar todo o cenário possível no qual uma ambulância pode ser chamada desnecessariamente; porém, algumas diretrizes de senso comum podem ser aplicadas quando for avaliar cada situação. Sempre haverá preocupação em considerar o pedido como sendo de emergência ou não e recomendar se for o caso o uso de transporte alternativo. Completando e

documentando uma avaliação de um paciente e tomando uma decisão de transporte em acordo com o comando médico, podem reduzir a obrigação nestes casos. Como sempre, bom senso deve ser uma parte da equação da tomada de decisão para proteger o provedor de ambulância (MURNAME & VOELTZ, 2000).

EMS se tornou uma comunidade verdadeiramente internacional, pois os países por todas às partes do mundo faz uso de serviços pré-hospitalar a população em emergências médicas. Diferenças em protocolos, tratamentos e equipamentos existem naturalmente entre os países que oferecem estes serviços, mas uma coisa que permanece o mesmo por todas as partes do mundo está na dedicação e na lealdade demonstrada pelos provedores que escolheram como profissão (SPIVAK, 2000).

Cuidado de emergência pré-hospitalar não é somente a entrega prática de médico principalmente, mas também incorpora ciências como a psicologia, ciências sociais, geografia, e várias outras. Comparado a outras partes da medicina, serviço de emergência pré-hospitalar acontece em ambiente complexo. Os provedores estão expostos a vários perigos incluindo condições de tempo difícil, tráfico, encontros hostis, substância química de radiação, e substâncias infecciosas. Assegurar melhoria de qualidade contínua sob tais condições adversas e em operações diária de rotina, os supervisores no cenário são úteis. Eles servem como mediadores entre provedores pré-hospitalar, administração de EMS, e os clientes externos tais como pacientes, hospitais, polícia e corpos de bombeiros. Aspectos do seu trabalho incluem: 1) atendimento ao consumidor; 2) melhoria de qualidade; 3) coordenação do cenário; 4) privilégios de diretor médico; 5) relações públicas; 6) educação continuada; 7) administração de risco; 8) ajuda de empregado; e 9) pesquisa. Várias habilidades sociais e treinamento adicional especial são pré-requisitos para o excelente trabalho do supervisor (REDELSTEINER, 1997).

O tratamento através do pessoal de EMS pode fazer uma diferença vital no resultado dos pacientes com TBI (*treatment of traumatic brain injury*) por tratar o dano primário adequadamente e prevenir dano secundário com a função cerebral diminuído. Enquanto 78% das pessoas com um GCS (*Glasgow Coma Scale*), 3 morrerão do seu TBI, 3 a 4% recuperarão com pequeno ou nenhum déficit neurológico. Este artigo discute às mais recentes recomendações nacionais baseadas em evidências para o tratamento de TBI relacionado aos cuidado pré-hospitalar (PRICE & BURNS, 1999).

Outro problema que afeta o serviço de emergência pré-hospitalar é o envolvimento das ambulâncias em acidentes e colisões com outros veículos devido a alta velocidade, e as ultrapassagens de sinais vermelhos e avanço de ruas preferenciais. Operar uma ambulância em modo de emergência é uma das atividades mais perigosas que um provedor está habitualmente envolvido. Sempre devem ser levados em consideração os cuidados redobrados pelas vidas e segurança do motorista, da tripulação, do paciente e a segurança de todas as outras pessoas que o veículo encontrará durante a chamada.

A pessoa que despacha as ambulâncias e o treinamento do qual os motoristas recebem são pontos importantes na redução de acidentes e colisões que as ambulâncias se envolvem. No primeiro caso, a pessoa tem de ter bom senso na hora de classificar o pedido como emergência e a maneira pela qual é repassado o pedido ao pessoal que vai fazer o atendimento. No segundo caso, o motorista tem de ter bom senso e perícia na hora de conduzir à ambulância devido às altas velocidades, e às ultrapassagens dos sinais vermelhos e ruas preferenciais.

2.3 A otimização nos serviços de emergência

Um dos problemas mais comuns em sistemas de serviços urbanos é o planejamento de uma coleção de rotas de entregas ótimas de um ou mais depósitos para um número de cidades ou clientes geograficamente dispersos.

Uma outra categoria extensa de problemas de sistema de serviço urbano são aqueles que estão preocupados com a determinação dos locais para o estacionamento dos veículos de serviço ou com a implantação de novas facilidades. Estes problemas surgem no contexto de serviços de rotina e de emergência, mas os objetivos são normalmente diferentes nos dois casos.

Problemas de locação aparecem freqüentemente na prática em uma variedade de aplicações, como por exemplo: a localização do centro de comutação numa rede telefônica, armazéns de suprimentos numa rede de distribuição e a locação de centros de triagens de cartas. Ao contrário destes casos, que se caracterizam como problemas de localização de mínima soma, os problemas de localização de facilidades de atendimento à emergência, tais como: postos policiais, emergências de hospitais e postos de bombeiros, caracterizam-se como problemas de localização de centros (BEZERRA, 1995).

Para Larson e Odoni (1981), o problema de localização de facilidades está incluído nas três categorias seguintes:

1. *Problemas da mediana.* O número preestabelecido de facilidades deve ser localizado para minimizar a distância média de viagem (ou o tempo médio ou o custo médio de viagem) dos clientes para as facilidades. Esses problemas surgem freqüentemente no contexto de construção de facilidade para a prestação de serviços de não emergência.
2. *Problemas de centro.* O número preestabelecido de facilidades deve ser localizado para minimizar a distância máxima de viagem (ou tempo ou custo máximo de viagem) das facilidades para os clientes. Esses problemas também às vezes chamado de problemas minimax, são mais aplicáveis no contexto de serviços urbanos de emergência, tais como emergência médica, combate à incêndios e serviços de conserto de emergência em geral.
3. *Problemas de exigências.* Estes são os problemas nos quais certos padrões de desempenho já foram preestabelecidos para um sistema de serviço e busca o número ótimo de facilidades para satisfazer estes padrões, como também as melhores localizações destas facilidades. Este tipo de problema é mais geral do que os problemas citados acima e é aplicável a serviços de emergência e de não emergência.

Os estudos relativos à otimização de serviços de emergência têm duas grandes vertentes. A primeira se voltou para a pesquisa de localização e distribuição espacial de unidades de serviço em uma determinada área. A segunda se preocupou com a expansão da capacidade destes serviços em função do crescimento temporal da demanda.

As alocações espacial e temporal, por sua vez, dependem do nível de atendimento, eficiência e eficácia do serviço que se pretende implantar e, conseqüentemente, do volume de recursos disponíveis para este fim. Já em termos de previsão da demanda, o problema torna-se mais complexo pois esta pode variar no tempo de região para região.

2.4 Conclusão

O problema apresentado é complexo, pois é constituído dos problemas Controle do Atendimento das emergências e Localização espacial e temporal das Facilidades.

A fase do controle do atendimento das emergências pode ser considerada a mais importante, pois aqui é onde se dar os primeiros contatos das pessoas que estão pedindo ajuda com o sistema de emergência, através do seu atendente/despachante. Nessa fase, o sistema é avaliado em termos da sua eficiência, rapidez e capacidade na prestação do serviço de boa qualidade para a população, tomando como base os seguintes pontos:

1. O treinamento recebido pelo atendente/despachante se foi de boa qualidade.
2. Dos protocolos utilizados pelo atendente/despachante se são eficientes ou não.
3. Do bom senso do atendente/despachante em considerar o pedido como de emergência ou não.

Essa fase é importante também pela sua subjetividade, pois depende de decisão de pessoas, mesmo tomando como base os itens acima mencionado.

A importância do problema da localização das facilidades se dá em termos do redimensionamento dos setores de abrangência de cada unidade de emergência em função da carga de trabalho de cada unidade, ou a de incluir outra unidade em um local estratégico para diminuir a carga de trabalho e o tempo de viagem de cada unidade. Essa fase é importante na manutenção da eficiência e rapidez do sistema, pois aqui é feita a divisão da cidade em setores de abrangência fazendo a divisão do trabalho por unidade e tornando a prestação do serviço mais cooperativo.

Nas duas últimas fases, as soluções propostas pelos pesquisadores, planejadores e administradores foram dadas recorrendo à Teoria dos Grafos empregando vários algoritmos exatos e aproximados, como também foram várias propostas heurísticas.

3 SOLUÇÕES ENCONTRADAS PARA SISTEMA DE EMERGÊNCIA

Para os sistemas de emergência, a Pesquisa Operacional o trata de maneira tradicional em obter a solução ótima que minimiza os custos globais. Em princípio, não deveria visar primordialmente a minimização de custos em que se cuida da aquisição de equipamentos e da instalação de diversas facilidades. Torna-se necessário definir outros tipos de critério de otimização, coerentes com o caráter emergencial/social de tais serviços.

O desempenho de um sistema de atendimento de emergência é avaliado basicamente através de duas variáveis:

1. A velocidade com que o sistema pode responder ao chamado de emergência ou seja, o seu tempo médio de resposta.
2. A habilidade das equipes de emergência em prestar o atendimento necessário no local da ocorrência.

O tempo de resposta, como já foi visto no capítulo anterior, é composto de vários elementos, como o tempo para coletar as informações sobre o local e a natureza do incidente, possíveis filas em situações de congestionamento, tempo em que a solicitação deve aguardar até que se disponha de uma unidade de emergência para atendê-la e, finalmente, o tempo requerido para que a unidade de emergência se desloque desde a sua base até o local da emergência.

A demora no despacho das unidades de emergência depende da natureza do serviço, dos equipamentos de comunicação existentes na central de comando e do nível de adestramento dos atendentes. Filas de espera dependem do número de unidades disponíveis no sistema e das regras de liberação dos veículos adotadas, visto que pode ser dada baixa prioridade para atendimento de alguns tipos de chamadas quando o sistema estiver congestionado com muitos veículos ocupados (Daskin, *apud* SOUZA, 1996, p. 26).

O tempo de viagem que representa a parcela mais significativa do tempo resposta, depende basicamente dos seguintes fatores:

1. O número de unidades de emergências disponíveis.
2. A localização das bases das unidades de emergência.
3. O setor de abrangência destinado a cada unidade de emergência.
4. As regras de relocação das unidades durante períodos de congestionamento.
5. As regras para despacho das unidades de emergência, que determinam qual veículo deve ser enviado para cada emergência em função do número de viaturas ocupadas, de sua localização e da natureza da chamada de emergência.
6. O escalonamento temporal das unidades de emergência, que determinará quando deverão ser adicionadas novas unidades em função do crescimento da demanda.

O tempo médio de viagem para uma emergência pode decrescer em função do aumento da frota dos veículos destinado a prestação do serviço emergencial. Com um número fixo de unidades, o tempo médio de viagem pode ser melhorado pela seleção dos locais da base das unidades e como também traçando um setor de abrangência menor, levando-se em consideração a demanda de cada região e as distâncias a percorrer.

Quando uma demanda de emergência é recebida, é possível que alguma unidade esteja ocupada atendendo a uma solução precedente. Um esquema de relocação de unidades pode ser usado durante os períodos com alta taxa de demanda, para reposicionar os veículos disponíveis de modo que o sistema responda com uma melhor performance as futuras chamadas. As regras de despacho são responsáveis pelo balanceamento das necessidades normais, procurando antecipar necessidades de chamadas futuras.

Além de distribuir as unidades de emergência espacialmente e estudar a melhor forma de operá-las, outra questão importante é o de otimizar o escalonamento no tempo. Critérios de alocação temporal prevêm com antecedência, em função do desenvolvimento da demanda, quando o sistema estará próximo à saturação, permitindo que se providencie a instalação prévia de novas unidades para suprir a demanda excedente.

Um ponto importante, comum em problemas de expansão de capacidade de serviços emergenciais nos países em desenvolvimento, é a grande incerteza nas projeções da demanda. De fato, quando se divide uma região geográfica a ser atendida em setores, o crescimento do número de usuários ao longo do tempo, em

cada setor de abrangência, varia consideravelmente entre si. Setores em que se esperava um crescimento apreciável, muitas vezes ficam relativamente estagnadas, enquanto outras, quase vazias, acabam apresentando desenvolvimento acentuado.

Uma forma de reduzir parcialmente esse tipo de problema no dimensionamento de serviços emergenciais, é o de planejar a demanda levando em conta não somente a tendência (isto é, o comportamento médio) mas também a variação aleatória em torno daquela. É claro que essa maneira de resolver a questão não elimina totalmente as incertezas, mas reduz, no limite do nível de informação disponível, seus efeitos.

3.1 Modelos de análise em sistema de emergência

Os serviços de emergência podem ser analisados através dos seguintes modelos:

1. Modelos para Distribuição Espacial.

Nesse enfoque, segundo Mirchandani (*apud* SOUZA, 1996, p. 31), dois tipos de modelos analíticos para localização de serviços de emergência sofreram maior desenvolvimento nos últimos anos; modelos estáticos, que assumem todas as unidades de emergência tipo carro de bombeiros, ambulâncias, carros de polícia, e outros, sempre estarão disponíveis para serem despachadas para uma ocorrência e modelos dinâmicos, que consideram a possibilidade de algumas unidades possam não estar disponíveis se estiverem ocupadas em outro incidente.

Os modelos estáticos incluem modelos de avaliação, que calcula as medidas de desempenho como tempo de resposta ou proporção de tempo ocupado pela unidade durante um período para várias alternativas de localização, e modelos de otimização, que determinam a localização ótima das instalações de acordo com uma ou mais medidas de desempenho. Estes modelos podem ser incluídos dentro de duas categorias:

- Formulação para o cobrimento uniforme, que busca minimizar o número de instalações de serviços (facilidades) requeridas, de modo a assegurar que nenhum ponto da área em estudo estará mais afastado que uma distância ou tempo resposta prefixado. Nesse tipo de problema se procura distribuir o

número possível de estações de maneira pela qual todos os pontos da área possam ser atendidos num tempo ou distância menor que um valor máximo admissível.

Para resolver o problema de cobertura uniforme, Torega (*apud* SOUZA, 1996, p. 32), utilizou programação inteira binária, como segue:

$$Z = \min \left(\sum_{j=1}^n y_j \right) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} y_j \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$y_j \in (0,1) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Onde:

m = é o número de zonas;

n = é o número de locais viáveis para a localização da facilidade;

$a_{ij} = 1$, se a zona i pode ser atendida por uma unidade localizada em j sem violar as restrições; e

$= 0$, nos demais casos;

$y_j = 1$ se uma unidade é baseada no local j ; e

$= 0$ nos demais casos.

- Modelos com formulação destinada a minimizar o tempo de viagem entre a facilidade e os pontos da área em estudo. Se destacam os modelos conhecidos como *minisun* e *minimax*. Este procedimento é muito conveniente para ser utilizado nos países mais pobres onde o número de unidades de emergência é quase sempre inferior ao necessário para atender à demanda.

No modelo *minisun*, também conhecido como *p-mediana*, o número de facilidades (p) é um dado exógeno, ou seja, pré-estabelecido, procurando-se distribuí-las de modo que o maior número de pessoas tenha acesso às facilidades, dentro de uma distância máxima estabelecida, com o menor *custo do incidente* possível (este custo pode ser: tempo de viagem, tempo resposta, prejuízos decorrentes de um incêndio, etc.) ou, em outras palavras, procura-se minimizar a

soma dos custos de transportes associados com p facilidades. Pode matematicamente ser expresso como:

$$Z = \min \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m d_{ij} x_{ij} a_i \right) \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (5)$$

$$\sum x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$y_j \geq x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$y_j, x_{ij} \in (0, 1) \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Onde:

y_j = setor onde está instalada a facilidade;

x_{ij} = 1 se a facilidade no local j atende a zona i ; e

= 0 nos outros casos;

d_{ij} = é o “custo” de atender a zona i a partir da estação j ;

a_i = fator de ponderação do custo para atender o setor i .

Outra família de modelos de localização utiliza uma estratégia *minimax* para localizar facilidades ou unidades. Neste caso o objetivo não é minimizar o custo total, mas sim minimizar o máximo custo (por exemplo a máxima distância) que algum ponto de demanda pode incorrer. Formalmente o problema pode ser expresso como:

$$\text{Min } Z$$

Sujeito a (5), (6), (7), (8) e:

$$Z \geq d_{ij} x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Esta formulação é também chamada de problema *p-centro*.

Vários algoritmos e procedimentos heurísticos foram desenvolvidos para resolver estes tipos de problemas, sendo um dos que apresentam melhores resultados e de mais fácil aplicação é o proposto por Maranzana citado por Reilly (*apud* SOUZA, 1996, p. 34), que seleciona o melhor conjunto P de m locais

candidatos para instalar uma base de unidades de emergência, e que pode ser escrito como segue:

- 1) Localizar as unidades ou guarnições de emergência num conjunto P arbitrário, dentre os m locais possíveis.
- 2) Designar cada zona à guarnição mais próxima.
- 3) Verificar para cada setor (conjunto de zonas atendidas por uma mesma guarnição), se a unidade de emergência atribuída a ele minimiza a função objetiva, isto é, determinar se a localização da viatura está mais próxima do centro de gravidade do setor que em qualquer outra localização. Se mudar a posição da unidade para um outro local viável, uma melhora na distância ou no tempo resposta é possível, mover a unidade para o outro ponto.
- 4) Retornar ao passo 2 se houve alguma alteração na seleção anterior do conjunto P , caso contrário encerrar o processo.

Os modelos dinâmicos são baseados na representação do processo de filas que pode surgir quando a unidade responsável pelo atendimento de um zona, onde ocorreu um incidente, não está disponível. O modelo então localiza a unidade mais próxima a ser chamada e a remete para atender as ocorrências não atendidas que estão nesta fila. É um modelo que pode ser aplicado, normalmente com bons resultados, para avaliar o tempo resposta, assim como para equalizar a taxa de ocupação, das várias unidades de atendimento de emergência de uma cidade ou de uma região, porém não proporciona subsídios para uma melhor distribuição das viaturas na região, tendo em vista que parte da premissa quanto as localizações são conhecidas e fixadas.

Um outro importante modelo, desenvolvido por Mirchandani e Reilly (*apud* SOUZA, 1996, p. 35), usa o método da análise da utilidade, que emprega a experiência de profissionais nas áreas de atendimentos de emergência, para atribuir importância a vários fatores que podem contribuir para a elevação dos custos de um incidente, como por exemplo: tempo resposta, prejuízos de um incêndio ou de um acidente de trânsito, etc. O modelo procura minimizar uma função de utilidade esperada que pode ser definida como:

$$E[u(t)] = \int_0^{\infty} f(t)u(t)dt \quad (10)$$

onde $f(t)$ é a função densidade de probabilidade do tempo resposta t para um incidente aleatório e $u(t)$ é a utilidade do tempo resposta t .

A utilidade do tempo resposta não necessita ser uma função linear do tempo resposta. Por exemplo: um administrador pode preferir um tempo resposta esperado de 10 min, com baixa variância, a um tempo resposta médio menor, porém com alta variância. Esta preferência pode ser revelada pela simples formulação da função utilidade $u(t)$.

Se dividirmos a região em m zonas, a utilidade esperada pode ser representada como:

$$E[u(t)] = \sum_{i=1}^p p_i \left[\int_0^{\infty} f_i(t)u(t)dt \right] \quad (11)$$

onde p_i é a proporção de incêndios na zona i e $f_i(t)$ é a função densidade de probabilidade do tempo resposta i para um incidente aleatório na zona i .

Note que $f_i(t)$ depende da localização da unidade de emergência dentro da zona i . Então um bom critério de locação para este cenário seria maximizar a $E[u(t)]$ pela distribuição ótima de p unidades em n locais viáveis, sujeito a algumas restrições que serão formalizadas posteriormente.

Apesar de que a função utilidade acima seja adequada para o tempo resposta de uma única unidade, o ambiente operacional típico de um Corpo de Bombeiros é tal que, quando uma chamada de serviço é recebida, uma ou mais viaturas são despachadas, a partir de localizações pré-estabelecidas. O resultado do envio de mais de uma unidade pode ser incluído na análise, desde que funções utilidades possam ser obtidas através de múltiplos atributos. Neste caso é desejável que o tempo resposta da segunda unidade a ser enviada tenha algum efeito na redução dos danos causados pelo fogo. Necessita-se, portanto, de uma função utilidade bidimensional $u(t_1, t_2)$, onde t_1 é o tempo resposta da primeira unidade e t_2 o tempo resposta da segunda unidade.

Para simplificar a discussão, pode-se assumir que os dois atributos (tempo resposta da 1ª da 2ª viaturas) têm utilidade mutuamente independente. Esta consideração significa que, para um nível fixado de um atributo, a importância

relativa dos vários níveis dos demais atributos não dependem do nível do primeiro atributo.

A utilidade esperada resultante pode ser expressa como:

$$E[u(t_1, t_2)] = \sum p_i \left[\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f_i(t_1, t_2) u(t_1, t_2) dt_1 dt_2 \right] \quad (12)$$

onde:

$f_i(t_1, t_2)$ = é a função densidade de probabilidade conjunta de tempo resposta das primeira e segunda viaturas, para um incidente aleatório na zona i , e

$u(t_1, t_2)$ = é a função utilidade bivariável do tempo resposta da primeira e segunda viatura.

Alternativamente pode ser representada como:

$$E[u(t_1, t_2)] = \sum p_i \left[\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(t_1, t_2) u(t_1, t_2) dt_1 dt_2 \right] \quad (13)$$

onde $f(t_1, t_2)$ é a função densidade de probabilidade conjunta do tempo resposta da primeira e segunda viaturas para um incidente aleatório em toda a área de serviço.

Para resolver esta integral, utiliza-se a expansão da série de Taylor de $u(t_1, t_2)$ em relação a média de t_1 e t_2 , representados por \bar{t}_1 e \bar{t}_2 :

$$\begin{aligned} u(t_1, t_2) = & u(\bar{t}_1, \bar{t}_2) + u_{10}(\bar{t}_1, \bar{t}_2)(t_1, \bar{t}_1) + u_{01}(\bar{t}_1, \bar{t}_2)(t_2, \bar{t}_2) + \frac{1}{1} u_{20}(\bar{t}_1, \bar{t}_2)(t_1, \bar{t}_1)^2 + \\ & + \frac{1}{2} u_{02}(\bar{t}_1, \bar{t}_2)(t_2, \bar{t}_2)^2 + u_{11}(\bar{t}_1, \bar{t}_2)(t_1, \bar{t}_1)(t_2, \bar{t}_2) + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

onde $u_{ij}(t_1, t_2)$ são as derivadas parciais correspondentes a i e j .

$$u_{ij}(t_1, t_2) = \left(\frac{\partial}{\partial_1} \right)^i \left(\frac{\partial}{\partial_2} \right)^j u(t_1, t_2) \quad (15)$$

Se \bar{t}_1 é a média de t_1 e \bar{t}_2 é a média de t_2 , então $E[t_1 - \bar{t}_1] = 0$ e $E[t_2 - \bar{t}_2] = 0$.

Neste caso o valor esperado de $u(t_1, t_2)$ é aproximado para:

$$\begin{aligned} E[u(t_1, t_2)] = & u(\bar{t}_1, \bar{t}_2) + \frac{1}{2} E \left[u_{20}(\bar{t}_1, \bar{t}_2) (t_1, \bar{t}_1)^2 \right] + \frac{1}{2} E \left[u_{02}(\bar{t}_1, \bar{t}_2) (t_2, \bar{t}_2)^2 \right] \\ & + E \left[u_{11}(\bar{t}_1, \bar{t}_2) (t_1, \bar{t}_1) (t_2, \bar{t}_2) \right] \end{aligned} \quad (16)$$

ou equivalente a:

$$E[u(t_1, t_2)] = u(\bar{t}_1, \bar{t}_2) + \frac{1}{2} u_{20}(\bar{t}_1, \bar{t}_2) \sigma_1^2 + \frac{1}{2} u_{02}(\bar{t}_1, \bar{t}_2) \sigma_2^2 + u_{11}(\bar{t}_1, \bar{t}_2) \text{cov}(t_1, t_2) \quad (17)$$

onde:

σ_1^2 = é a variância de t_1 ;

σ_2^2 = é a variância de t_2 e

$\text{cov}(t_1, t_2)$ = é a covariância de t_1 e t_2

A expressão (17) apresenta a utilidade esperada como uma função das médias, variâncias e covariâncias dos tempos respostas das duas primeiras unidades que chegam ao local da chamada emergencial.

Para cada local planejado é possível, calcular estas médias, variâncias e covariâncias. Então, uma maneira para determinar um plano para localização que maximize a utilidade esperada das unidades de atendimento de emergências numa região, é o uso da equação (17), sujeita às restrições inerentes ao modelo *minisun* cujo objetivo é minimizar a soma dos custos associados com p facilidades.

A função utilidade é um instrumento que pode ser utilizado com bons resultados para se tomar decisões em situações de incerteza pois descrevem o comportamento de escolha do tomador de decisões por um conjunto de bens ou de procedimentos, representado por x_1 , em detrimento de outros conjuntos x_2, x_3, \dots, x_n , assumindo, naturalmente, que o conjunto de bens ou procedimentos escolhido deva representar uma utilidade maior que os rejeitados.

Por exemplo: Num determinado momento o administrador deve escolher a partir de um determinado conjunto de alternativas, sendo confrontado com várias incertezas e tendo conhecimento das conseqüências, que podem ser multidimensionais, pela qual sua opção pode ocasionar. Uma função densidade de probabilidade de cada alternativa pode representar estas incertezas. O administrador terá então condições de selecionar a alternativa associada com a distribuição de conseqüências mais desejável, ou seja, a que maximiza os benefícios ou minimiza os prejuízos.

2. Modelos de Expansão da Capacidade

No segundo enfoque, os modelos de expansão da capacidade procuram determinar à priori quando o sistema deverá se expandir levando em conta que atingiu sua capacidade máxima de atendimento, ou seja, o sistema atingiu seu ponto de saturação.

Dividem-se em modelos determinísticos, quando se conhece exatamente a equação de crescimento da demanda, e modelos probabilísticos, nos quais a demanda pode variar em torno de uma linha de tendência.

a. Modelos determinísticos:

Segundo Souza (1996), desde o início da década de 60 muitos estudos quantitativos relacionados com a expansão da capacidade de instalações e sistemas foram realizados. De uma forma geral os problemas de expansão de capacidade consideram uma curva de projeção da demanda no tempo, a qual deve ser atendida dentro de um certo nível de serviço (qualidade de atendimento) pré-definido. Em determinados instantes ao longo do horizonte do projeto, é acrescentada uma nova facilidade ao sistema com capacidade x . Admite-se que os custos de investimentos apresentam economias de escala, podendo ser representados por uma função do tipo:

$$I(x) = kx^a \quad (18)$$

com $0 < a < 1$ e $k > 0$. A cada t anos o sistema deve ser revisto, acrescentando-se as capacidades x_1, x_2, \dots, x_n nos estágios $j = 1, 2, \dots, n$ de forma a garantir um nível de atendimento dentro das especificações pré-estabelecidas. A demanda, por sua vez, cresce de acordo com uma função $D(t)$. Assim, num determinado estágio j da oferta, deve-se acrescentar uma capacidade igual a x_j de forma a atender ao acréscimo de demanda $D(t_{j+1}) - D(t_j)$ que ocorrerá até o novo instante de revisão do sistema, no estágio t_{j+1} .

Para o desenvolvimento do modelo matemático, algumas considerações básicas devem ser observadas:

- A demanda varia com o tempo. Conforme o caso em estudo esta variação pode ser linear, geométrica ou até aleatória. Normalmente a demanda deve apresentar tendência de crescimento, pois se o inverso acontecer, não haverá necessidade de se adicionar novas capacidades ao sistema.
- Os equipamentos são infinitamente duráveis, ou seja, as capacidades instaladas somente necessitarão ser substituídas ao final de sua vida útil, no infinito.
- Os custos unitários de expansão de capacidade são invariáveis no tempo.
- Quando a demanda atinge o ponto de saturação da capacidade existente, x unidades de novas capacidades são adicionadas ao sistema.
- Assume-se que o horizonte de planejamento é infinito, porém, para efeitos práticos poderá ser truncado após um número arbitrário finito de anos.

A figura 2 esquematiza o incremento da capacidade de atendimento da demanda com o tempo. Observe-se que até o instante t_0 as instalações existentes possuíam capacidade disponível para atender a demanda, cujo limite é representado pelo ponto D_0 . Neste ponto considera-se que o serviço atingiu o nível de saturação, sendo necessário ampliá-lo, introduzindo-se uma nova capacidade de tamanho x , que teria possibilidade de atender a demanda até que esta atinja o ponto $D_0 + x$.

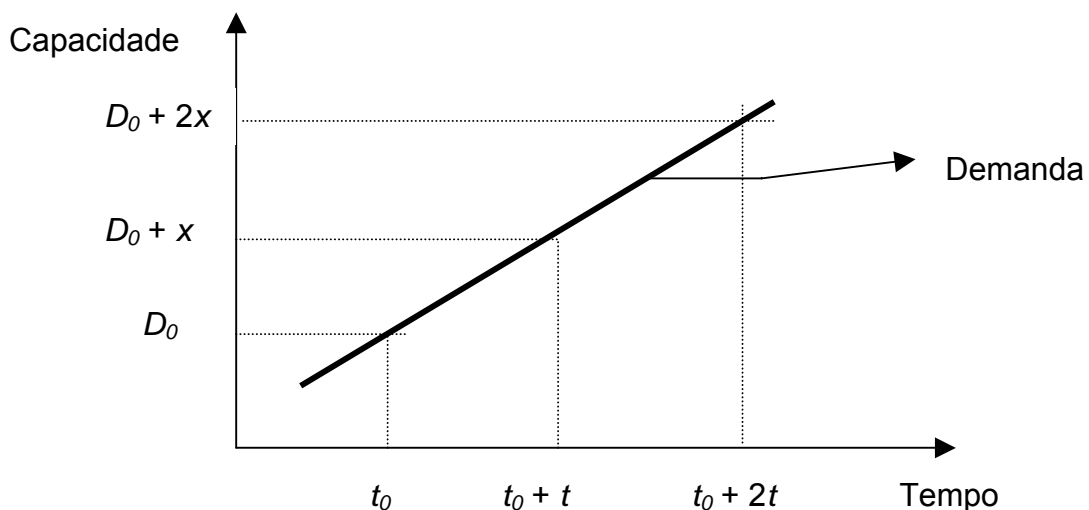


Figura 2: Crescimento da demanda e da capacidade com o tempo

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

A idéia principal é sempre que a demanda sobe até o ponto em que a capacidade máxima de atendimento de uma facilidade existente é atingida, uma nova capacidade é adicionada. A evolução da demanda atendida se comporta como num modelo tipo “dente de serra” (*sawtooth*), onde t_0, t_1, t_2, \dots , são intervalos de tempo nos quais se acrescenta uma nova capacidade x ao sistema.

A Figura 3 representa a evolução do excesso da capacidade com o tempo, onde observa-se que este excesso vai sendo “consumido” com o incremento da demanda.

Excesso de capacidade

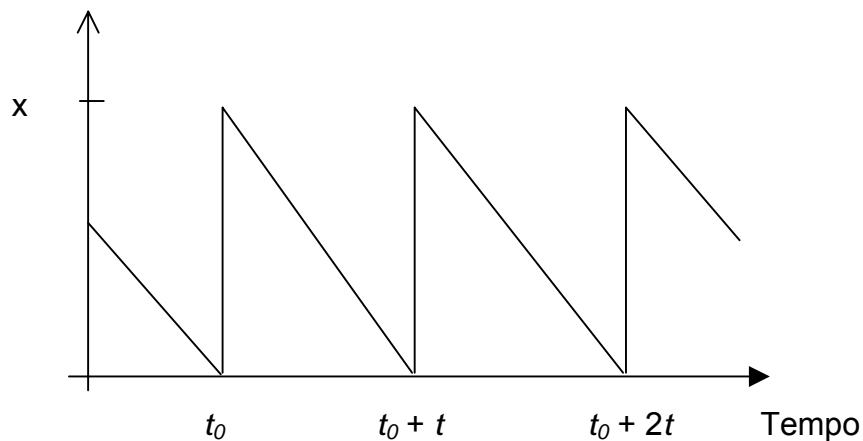


Figura 3: Evolução do excesso de capacidade com o tempo

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Em sua tese Souza (1996), cita os seguintes trabalhos de relevância para esses modelos:

- Manne (1961), tratou inicialmente do problema com expansão linear da demanda, em que os acréscimos de capacidade são todos iguais, ou seja, $x_1 = x_2 = \dots = x_n = x$. Sendo $C(x)$ a soma de todos os custos futuros descontados à data zero, pode-se escrever a seguinte equação de recorrência, considerando o período $x = t$ decorrido desde a data zero:

$$C(0) = k x^a + e^{-rt} C(t) \quad (19)$$

onde r é a taxa de desconto. Admitindo um horizonte de projeto suficientemente longo, $C(0) = C(t)$, sendo x , por outro lado, dado por $x = \varphi t$ (crescimento não linear da demanda). Substituindo em (19):

$$C(t) = k(\varphi t)^a + e^{-rt} C(t) \quad (20)$$

ou

$$C(t) = \frac{k(\varphi t)^a}{1 - e^{-rt}} \quad (21)$$

Derivando a equação (21) em relação a t e igualando a zero, obtêm-se o intervalo ótimo entre sucessivos estágios.

- Srinivasan (1967), caso a demanda não apresente uma função com comportamento linear e sim tendo uma taxa geométrica de crescimento, provou que a função $C(x)$ terá o seguinte aspecto:

$$C(x) = \frac{k x^a}{1 - e^{-(r-ag)x}} \quad (22)$$

onde g representa uma taxa geométrica de crescimento da demanda. O modelo é idêntico à formulação linear, apenas com uma correção no coeficiente de x , no denominador.

A figura 4 demonstra que quando a demanda apresenta crescimento geométrico, o intervalo temporal entre a adição de novas capacidades unitárias não é mais constante, mas tende a decrescer com o tempo.

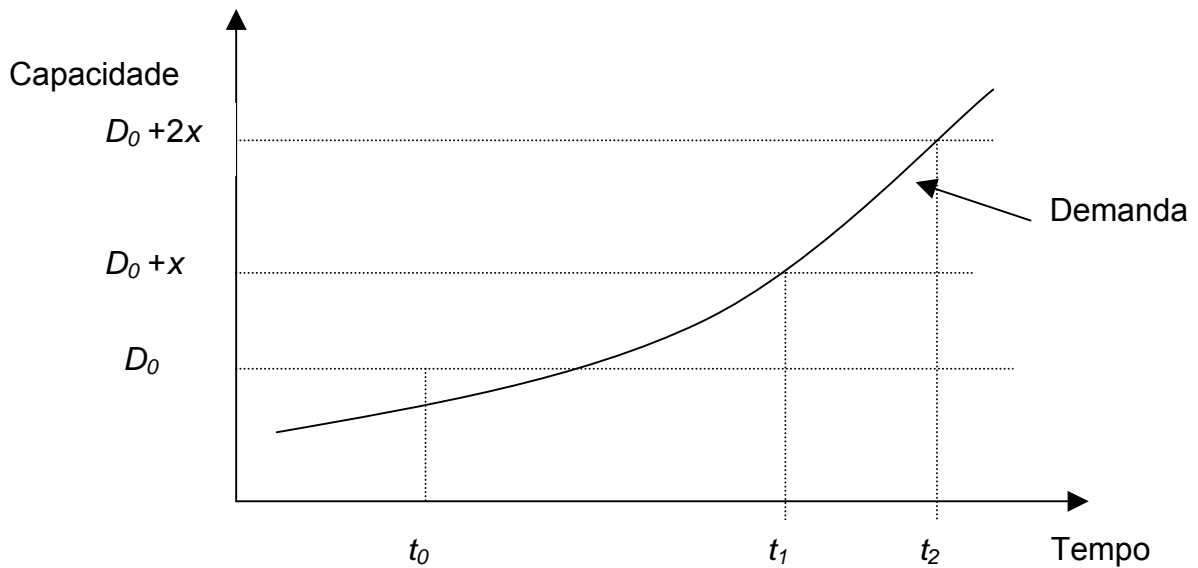


Figura 4: Expansão da capacidade com demanda expandindo geometricamente

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

No caso dos serviços de emergência a introdução da escala temporal no modelo é importante porque a ocupação das diferentes áreas urbanas apresenta crescimento irregular, com algumas se expandindo aceleradamente, enquanto outras permanecem mais ou menos estagnadas.

b. Modelo probabilístico:

Neste caso a demanda não se apresenta como uma função linear contínua e varia aleatoriamente com o tempo. Agora nosso objetivo é minimizar o valor presente do custo esperado para se adicionar as novas capacidades.

A Figura 5 apresenta a expansão da capacidade com demanda aleatória tendo a tendência de crescimento linear.

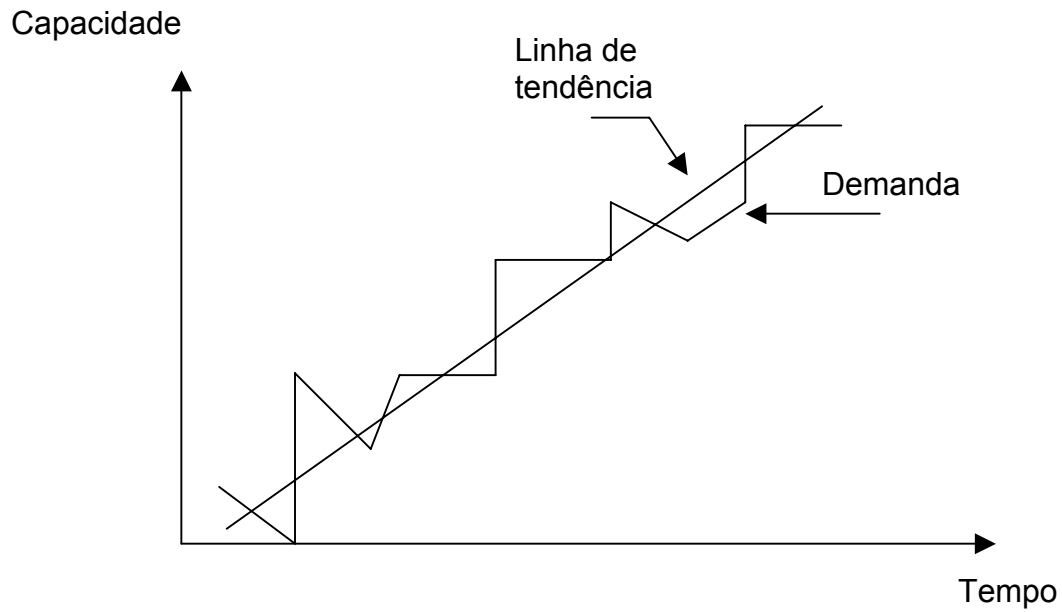


Figura 5: Expansão da capacidade com demanda expandindo aleatoriamente porém com tendência de crescimento linear

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Na Figura 6, a linha de tendência tem um crescimento geométrico (exponencialmente) com a expansão da capacidade da demanda expandindo aleatoriamente.

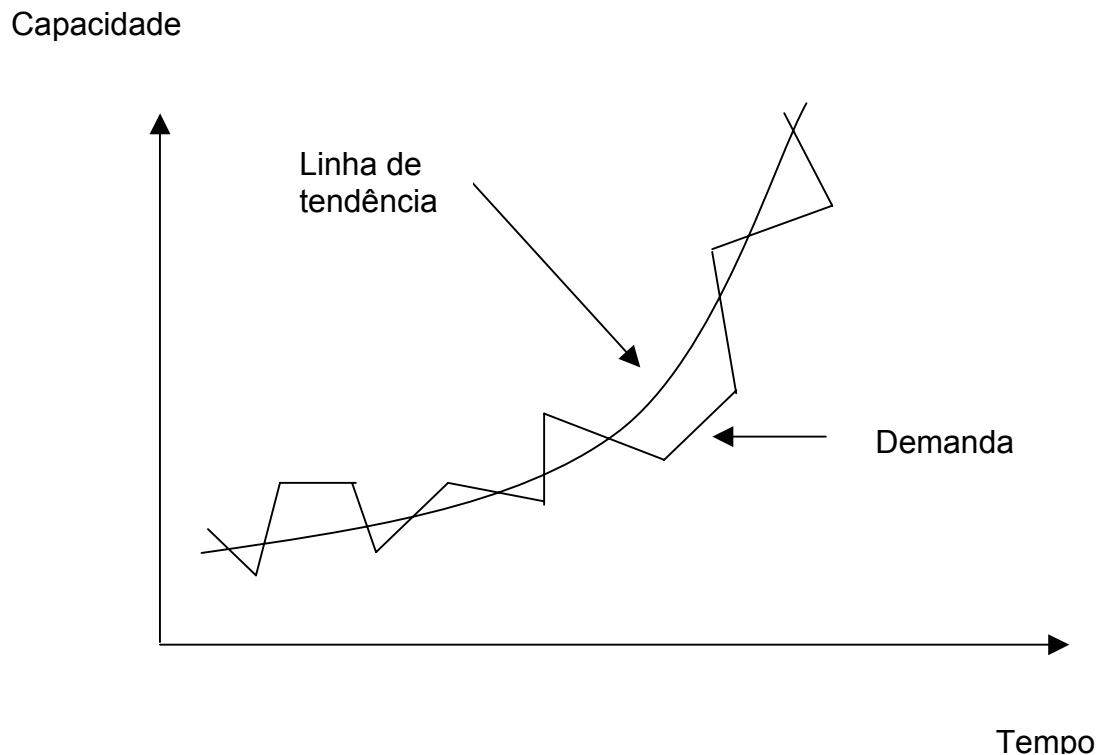


Figura 6: Expansão da capacidade com demanda expandindo aleatoriamente, porém com tendência de crescimento geométrica

Fonte: SOUZA, João Carlos. Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Considera-se que a demanda se comportara com semelhança a um movimento Browniano com tendência de crescimento. Segundo Karlin (*apud* SOUZA, 1996, p. 44), o movimento Browniano é definido como um processo estocástico $\{X(t); t \geq 0\}$, com as seguintes propriedades:

- Todo incremento $X(t+s) - X(s)$ é normalmente distribuído, com média 0 e variância ct ; $c > 0$ é um parâmetro fixo constante.
- Para todo par de intervalos de tempo disjuntos $[t_1, t_2]$, $[t_3, t_4]$, com $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$, os incrementos $X(t_4) - X(t_3)$ e $X(t_2) - X(t_1)$ são variáveis aleatórias independentes com distribuição dada segundo (a) e similares para n intervalos de tempos disjuntos, onde n é um inteiro positivo arbitrário.

Isto significa que um deslocamento $X(t+s) - X(s)$ é independente do passado, ou, em palavras, se conhecemos $X(s) = x_0$, então nenhum valor anteriormente conhecido de $X(z)$ para $z < s$, tem qualquer efeito na lei de probabilidade que governa $X(t+s) - X(s)$. Escrito formalmente, isto comprova que o processo é do tipo Markoviano, pois se $t > t_0 > t_1 > \dots > t_n$, então:

$$P[X(t) \leq x / X(t_0) = x_0, X(t_1) = x_1, \dots, X(t_n) = x_n] = P[X(t) \leq x / X(t_0) = x_0] \quad (23)$$

Em seu trabalho Souza (1996), define que ocorre uma descontinuidade em todos os intervalos Δt do tempo. Esta descontinuidade discreta tem probabilidade p de ser crescente (constituindo um acréscimo ΔD unidades na demanda) ou probabilidade $q = (1 - p)$ de decrescer ΔD . Em termos do processo de Markov temos:

$$D(t) = D(t - \Delta t) + \varepsilon(t) \quad (24)$$

onde $D(t)$ representa a demanda no tempo t e $\varepsilon(t)$ é uma variável aleatória que pode tomar os valores de ΔD e $-\Delta D$ com probabilidades p e q respectivamente.

Ele utilizando o processo de difusão de Bachelier-Weiner, descrito em Manne (1961), obteve:

$$\frac{(\Delta D)^2}{\Delta t} = \sigma^2; \quad p = \frac{1}{2} + \mu \frac{\Delta D}{2\sigma^2}; \quad q = \frac{1}{2} - \mu \frac{\Delta D}{2\sigma^2} \quad (25)$$

onde m é a média e σ^2 é a variância da demanda. Os parâmetros p , q , ΔD e Δt conduzem nosso estudo a um problema estocástico em que o crescimento total de D sobre um período fixado de t anos é uma variável aleatória $D(t)$. Além disso, no limite, para o caso de tempo contínuo e uma direção preferencial de crescimento, este processo descreve o incremento da demanda como uma variável aleatória que é normalmente distribuída com média μt e variância $\sigma^2 t$.

Também utilizando a teoria desenvolvida por Manne (1961), obteve uma função que determina o intervalo de tempo entre as expansões de capacidade através da seguinte equação:

$$C(x) = \frac{k x^a}{1 - e^{-\lambda_2 x}} \quad (26)$$

Onde:

$$\lambda_2 = \frac{\mu}{\sigma^2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2r\sigma^2}{\mu^2}} \right) \quad (27)$$

Que é uma função que pode ser minimizada para obter-se o valor ótimo de x . Nesta equação observa-se que o coeficiente $-r$ da equação (21) é substituído por λ_2 (sempre negativo) que, por sua vez, é função da média e da variância da demanda.

Campbell (*apud* SOUZA, 1996, p. 47), desenvolveu um modelo que relaciona os custos de viagem e de implantação das unidades para localização e expansão de terminais de cargas.

Este modelo geral de localização dinâmica de terminais num ambiente com demanda em expansão baseia-se, em três parcelas de custos: custo de viagem dos veículos, custo de implantação e custo de relocação dos terminais. Cada uma destas três componentes do custo total será formalizada a seguir, definindo-se estratégias de ação com o propósito de se obter no final uma ótima estratégia de localização de unidades numa determinada região.

O número de veículos no sistema, no tempo t , $K(t)$, é uma função com valor inteiro, não decrescente. As viaturas podem ser localizadas em qualquer posição dentro da região de serviço s , que pode ser dividida em vários setores, e suas localizações no tempo t são $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]$, onde $x_j(t)$ é a localização da j -ésima viatura no tempo t . Toda vez que $K(t)$ cresce, o vetor $X(t)$ é incrementado com um novo elemento.

Os terminais são adicionados nos instantes de tempo t_i , $i = 1, 2, \dots$ e $t_i < t_{i+1}$. Será considerado que as relocações somente serão efetuadas naqueles instantes de tempo. Portanto $K(t)$ e $X(t)$ somente se alteram nos tempos t_i .

O número acumulado de relocações que ocorrerem é $M(t)$ e quando um terminal específico for relocado várias vezes, $M(t)$ cresce em cada relocação. Então $M(t)$ também é uma função não decrescente que somente pode alterar de valor nos tempos t_i . A densidade da demanda, $\rho(x, t)$ (carregamentos por unidade de tempo na localidade x , no tempo t), é uma função contínua, não decrescente no espaço e no tempo com limite finito. Considera-se que região de serviço s tem tamanho A e, em princípio, não muda com o tempo.

O custo total descontado é o valor presente da soma dos custos de implantação e relocação dos terminais e dos custos de transporte, descontado sobre um horizonte de tempo infinito (na prática se faz uma truncagem no modelo após um certo número de anos). Cada componente do custo será explicitado abaixo.

Os custos de implantação dos terminais são os relativos a construção, aquisição e manutenção dos veículos e todas as despesas com pessoal e material de expediente. Os custos variáveis são desconsiderados porque geralmente representam uma pequena porcentagem do custo total, ou seja os custos de implantação são os destinados para adquirir e operar as unidades de emergência e suas bases.

O custo fixo por unidade de tempo é representado por uma série contínua de pagamentos de tamanho f . Se as despesas ocorrerem num único instante de tempo com custo F , então F é descontado sobre um horizonte infinito, $f = qF$, onde q é a taxa de desconto (proporção do valor por unidade de tempo, $q > 0$). Se o custo for expresso por unidades de f , então o custo descontado de implantação dos terminais no intervalo de tempo entre t_0 e ∞ é:

$$\int_0^{\infty} K(t)e^{-qt} dt \quad (28)$$

Os custos de viagem são os devidos aos custos de deslocamento entre à base das viaturas até o local do incidente, acrescidos de um custo relativo aos prejuízos ocorridos em função da demora do socorro.

Sendo $D(x, X(t))$ o custo médio de viagem de uma viatura para coletar uma carga ou fazer uma entrega ocorridas no tempo t , com origem no ponto x e para todos os destinos na região de serviço. Multiplicando pela demanda do setor x , no tempo t , $\rho(x, t)$ (chamadas por unidade de área, por unidade de tempo), e integrando sobre a região de serviço, obtém-se o custo total de viagem por unidade de tempo para atender toda a demanda no tempo t . O custo total de viagem acumulado no intervalo de tempo entre t_0 e ∞ é então:

$$\int_0^{\infty} \left[\int_{L_s} \rho(x, t) D(x, X(t)) \right] e^{-qt} dt \quad (29)$$

Os custos de relocação incluem somente os custos para desativar uma base e removê-la para outro local. Este é um custo que ocorre unitariamente no tempo. Não são considerados os custos de operação e aquisição dos veículos, que já foram incluídos nos custos de implantação das viaturas. A formulação do custo de relocação é similar a do custo de implantação. Para cada relocação no tempo t_i , um valor R é despendido. R pode ser considerado como equivalente para todas as bases ou terminais e não depende da distância entre a nova e a antiga localização.

Este custo unitário também deve ser convertido para um custo contínuo equivalente, por unidade de tempo, $r = qR$, descontado no intervalo entre t_0 e ∞ . Então cada relocação é representada por um dispêndio de r unidades de custo por unidade de tempo, para todo o tempo após a relocação. O custo descontado total referente às relocações é o produto do custo de cada relocação, r , e o número total de relocações $M(t)$, descontado para o tempo t_0 e ∞ .

$$\int_0^{\infty} M(t) r e^{-qt} dt \quad (30)$$

Caso a localização, $X(t)$, dos terminais seja conhecida para todas as unidades de tempo, então o número de terminais, $K(t)$, e o número de relocações, $M(t)$, também serão conhecidos. Portanto, a soma dos custos de transporte, implantação e relocação é, na realidade, uma função somente da localização das bases das viaturas, e pode ser denotado por $C(X(t))$.

$$C(X(t)) = \int_0^{\infty} K(t) e^{-qt} dt + \int_0^{\infty} \left[\int_s \rho(x,t) D(x, X(t)) \right] e^{-qt} dt + \int_0^{\infty} M(t) r e^{-qt} dt \quad (31)$$

Combinando os custos numa única integral e fazendo A representar a área da região de serviço e $\bar{D}(s, X(t))$ o custo médio de viagem para todos os atendimentos nesta região se pode reescrever a equação (31):

$$C(X(t)) = \int_{t_0}^{\infty} \left[K(t) + \rho(x,t) A \bar{D}(s, X(t)) + M(t) r \right] e^{-qt} dt \quad (32)$$

Nesta função, através de pesquisas de campo, podem ser conhecidos: a região de serviço s , a densidade da demanda $\rho(x,t)$ e os parâmetros r , q e t_0 . $D(x, X(t))$ pode ser determinado a partir de $X(t)$. Para se obter estratégias de

localização é necessário, então, se definir uma série de regras e procedimentos que possam determinar $K(t)$, $X(t)$, $M(t)$ e t_i .

Fazendo $C'(X(t))$ representar a soma dos custos instantâneos de viagem, implantação e relocação no tempo, obtém-se:

$$C'(X(t)) = K(t) + \rho(x,t)AD[s, X(t)] + M(t)r \quad (33)$$

Como a escolha de posições para implantar e localizar um dado número de viaturas depende do número de terminais disponíveis e não de quando foram incluídos no sistema, pode-se adotar para localização um dos modelos citados anteriormente no capítulo relativo ao estado da arte, ou seja conjuntos de cobertura, p-medianas, p-centros, ou os modelos dinâmicos. Por conseguinte, é necessário se encontrar estratégias para determinar “quando” serão adicionadas novas facilidades ao sistema.

Um novo terminal será adicionado à região de serviço no momento em que a soma dos custos de viagem, implantação e relocação com k unidades de emergência for igual aos custos totais com $k+1$ unidades, ou seja, Campbell (1990), demonstrou que quando a demanda crescer até um determinado patamar os custos para atendê-la com as facilidades já instaladas podem ser tão elevados, em função do incremento dos custos de transporte e dos prejuízos em função da demora do atendimento, que justifica-se a implantação de uma nova facilidade.

Notar que $K(t)$, $X(t)$, $M(t)$ e $D(x, X(t))$ alteram somente no instante de tempo t_i e são constantes para $t_i \leq t < t_{i+1}$. Apenas a demanda $\rho(x,t)$ muda continuamente com o tempo. Se pode, portanto, admitir o custo total não como função de $X(t)$ ou t , mas como função da demanda $C[\rho(x,t)]$.

Considerando $\rho(x,t) = \rho$, como a demanda em um instante de tempo t , para determinar o momento t_i que deve ser adicionado um novo terminal deve-se encontrar a demanda limite ρ_i cujos custos totais com k viaturas serão iguais aos custos totais com $k+1$ unidades. Este momento t_i e, conseqüentemente, esta demanda limite ρ_i representam um ponto chamado ponto de salto ou ponto de regeneração. Em relação à demanda, as variáveis $K(r)$, $X(r)$, $M(r)$ e $\bar{D}(s, X(\rho))$ mudam somente quando se atinge a demanda limite ρ_i . Todas permanecem constantes para $\rho_i \leq \rho < \rho_{i+1}$. Por conseguinte, pode-se admitir:

$$D(t_i) = K(r_i), \quad X(t_i) = X(r_i) \quad \text{e} \quad M(t_i) = M(r_i)$$

A distribuição instantânea de custos $C'(X(r))$ pode, então, ser considerada como uma função linear por partes que muda aos saltos em $\rho_i, i = 1, 2, \dots$ (Função tipo *sawtooth*).

$$C'(X(r)) = K(\rho) + \rho A[D(s, X(\rho))] + M(\rho)r \quad (34)$$

Verifica-se que as decisões de “onde” implantar e relocar os terminais são baseadas somente na minimização dos custos de viagem, enquanto que as decisões de “quando” implantar ou relocar os terminais, baseiam-se no custo total, ou seja, nos custos de viagem, de implantação e de relocação. Portanto, a decisão de “onde localizar” é independente de “quando localizar” um terminal, podendo, por isso, serem tratadas separadamente.

A localização de um ou mais terminais pode ser determinada, a princípio, sem conhecer a faixa de demanda que é atendida por cada configuração particular de bases de viaturas, isto é, sem conhecer ρ_i . O procedimento para obter ρ_i é o seguinte: Encontrar a localização de 1 até k bases de viaturas, $X(r_i), i = 1, 2, \dots, k-1$. Cada configuração de i bases é apropriada para atender uma faixa de demanda ainda desconhecida $\rho_i \leq \rho < \rho_{i+1}$. A partir da localização de 1 até k terminais, o custo médio de viagem $\bar{D}(s, X(\rho_i)), i = 1, 2, \dots, k-1$ pode ser calculado. A demanda que configura o ponto de salto ou de regeneração (quando é adicionada um novo terminal) é então determinada resolvendo:

$$K(\rho_{i-1}) + \rho_i A[D(s, X(\rho_{i-1}))] + M(\rho_{i-1})r = K(\rho_i) + \rho_i A[D(s, X(\rho_{i-1}))] + M(\rho_i)r \quad (35)$$

Por exemplo, se considerasse que apenas um terminal seria adicionado ao sistema de cada vez e que exatamente uma relocação fosse executada a cada adição de um novo terminal, ter-se-ia para $r_i: K(r_i) = 1 + K(r_{i-1})$ e $M(r_i) = 1 + M(r_{i-1})$, então:

$$\rho_i = \frac{1+r}{\bar{D}(s, X(\rho_{i-1})) - \bar{D}(s, X(\rho_i))} \quad (36)$$

$X(r_i)$ é a localização de $i+1$ terminais e é conhecida para $i = 1, 2, \dots, k-1$. Portanto, concluindo, determinando-se ρ_i e conhecendo-se a curva de expansão da demanda em relação ao tempo, é possível se determinar o instante que deverá ser

adicionado cada novo terminal ao sistema e, conseqüentemente, estará resolvido o problema proposto.

3. Modelos que Levam em Conta o Tempo de Espera

O tempo médio de espera para atendimento de uma chamada de emergência, entre o instante que se inicia a transmissão de dados do solicitante para a central de comando e a chegada das viaturas no local do incidente ou seja, o tempo resposta, pode ser estimado por um modelo de filas com uma determinada taxa de chegada e de atendimento. Sob condições normais, a chegada de solicitações a uma central de comando de um sistema de atendimento emergencial pode ser admitida como um processo de Poisson, com uma taxa de λ chamadas por unidade de tempo, ajustada pela seguinte fórmula de recorrência:

$$P_n = \frac{\lambda}{n} P_{n-1} \quad (37)$$

Com $P_0 = e^{-\lambda}$, e P_n representando a probabilidade de, exatamente, n chamadas ocorrerem por unidade de tempo.

O problema maior é estabelecer a distribuição que melhor explica a taxa de atendimento, devido a grande variedade de incidentes que envolvem um sistema de atendimento emergencial. Esta distribuição genérica situa-se entre a distribuição determinística, com taxa de variação C_v igual a zero, até a distribuição exponencial, com coeficiente de variação igual a unidade.

$$C_v = \frac{\sigma_x}{E[x]} = \frac{\sqrt{Var(x)}}{E[x]} \quad (38)$$

Onde:

C_v é o coeficiente de variação da distribuição;

$E[x]$ é o valor esperado do tempo médio de atendimento e

σ_x é o desvio padrão da distribuição.

É necessário, portanto, determinar a distribuição genérica que corresponda ao processo de atendimento das chamadas de emergência. Para filas com chegadas regidas por processo de Poisson e apenas uma posição de serviço é muito prática a equação de Pollaczek-Khintchine para cálculo do tempo médio de espera na fila. Essa equação vale para qualquer distribuição do tempo de atendimento, desde que

exista apenas uma estação de serviço e as chegadas constituam um processo de Poisson (SOUZA e NOVAES, 1994).

Seja λ o fluxo médio de chegadas medido em número de elementos por unidade de tempo (chamadas por hora ou incêndios por dia, por exemplo). Seja $E[t] = \bar{T}$, o tempo médio de atendimento e σ_t o seu desvio padrão. O índice de congestionamento ρ do sistema é dado por:

$$\rho = \frac{\lambda}{1/\bar{T}} = \lambda\bar{T} \quad (39)$$

E admitindo ρ menor que a unidade a fim de garantir o equilíbrio estocástico da fila.

O tempo médio de espera na fila \bar{W}_q , ou, no caso de sistema de atendimento emergencial, o tempo resposta, (Novaes, 1975) pode ser definido como:

$$\bar{W}_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} [1 + C v(t)^2] \quad (40)$$

Para tempo de atendimento constante tem-se $C v(t) = 0$; para tempo de atendimento regido por distribuição exponencial tem-se $C v(t) = 1$. Verifica-se, portanto, que o tempo médio de espera para o segundo caso é o dobro do valor obtido para o primeiro caso. Este resultado obviamente só é válido para chegadas regidas por processo de Poisson, com uma única posição de atendimento. Entretanto, no problema de expansão de um sistema de atendimento emergencial, não se tem apenas uma posição de atendimento, representada por apenas uma equipe de socorro ou viatura do corpo de bombeiros, mas sim m equipes ou viaturas. Para se encontrar uma solução para este problema adaptou-se uma fórmula empírica semelhante à fórmula de Pollaczek-Khintchine, admitindo-se m posições de atendimento:

$$\bar{W}_{EG} \cong [A + B(C v(t)^2)] \quad (41)$$

Onde:

\bar{W}_{EG} é o tempo médio de espera na fila M/G/m para uma distribuição genérica do tempo de atendimento.

$$A = \frac{\rho}{2(1-\rho)} \bar{T} \quad \text{se } m = 1 \quad (42)$$

$$A = \bar{W}_{ED} \quad \text{se } m > 1 \quad (43)$$

$$B = \frac{\rho}{2(1-\rho)} \bar{T} \quad \text{se } m = 1 \quad (44)$$

$$B = \bar{W}_{EM} - \bar{W}_{ED} \quad \text{se } m > 1 \quad (45)$$

Onde:

\bar{W}_{ED} é o tempo de espera numa fila M/D/m com tempo de atendimento constante;

\bar{W}_{EM} é o tempo de espera numa fila M/M/m com atendimento regido por distribuição exponencial.

Portanto:

$$\bar{W}_{EG} = \bar{W}_{ED} + (\bar{W}_{EM} - \bar{W}_{ED}) C_V(t)^2 \quad (46)$$

Para determinar os valores de \bar{W}_{ED} e de \bar{W}_{EM} temos as seguintes fórmulas:

$$\bar{W}_{EM} = \frac{\pi_0 (\rho m)^m}{(1-\rho)^2 m! m} \bar{T} \quad (47)$$

Onde π_0 é a probabilidade de não haver nenhum elemento no sistema, dada por:

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{m-1} \frac{(m\rho)^j}{j!} + \frac{(m\rho)^m}{m!(1-\rho)}} \quad (48)$$

Sendo j o número de elementos na fila.

$$\bar{W}_{ED} = \frac{m}{m+1} \frac{(1-\rho^{m+1})}{(1-\rho^m)} \bar{W}_{EM} \quad (49)$$

A taxa λ de chegada de chamadas de emergência depende da função demanda $Q(t)$, ou seja λ pode variar com o crescimento da procura dos serviços de emergência. Este crescimento depende de muitos fatores como aumento da população, dos locais de risco e outros, porém depende principalmente do tempo, que é o fator básico para se determinar os intervalos em que serão adicionados as novas unidades de atendimento de emergências (viaturas). O crescimento da demanda em relação ao tempo pode ser estimado por métodos de regressão ou

pelos modelos da teoria da decisão, onde vários cenários são estudados, avaliando-se as probabilidades de cada um.

Portanto como λ é função do tempo, $\lambda = f(t)$, a equação (46) também fica em função do tempo, $\overline{W}_{EG} = f(t)$. Fixando-se um tempo de espera médio (T_{EM}) admissível, é possível, através de métodos de otimização, se determinar o intervalo de tempo em que deve ser providenciado o acréscimo e a localização de novas viaturas na região. Ou, em outras palavras, dado o número m de viaturas, calcular período de tempo que estas m unidades de emergência poderão atender a crescente demanda de chamadas de emergência que devem ser atendidas, sem que estas tenham que aguardar mais que um tempo médio de espera (tempo resposta) tal que os custos do incidente fiquem numa faixa admissível.

3.2 Um modelo prático aplicado na proteção contra incêndio

Na sua tese, Souza (1996), propõe um modelo que considera critérios práticos para distribuir as unidades de emergência numa dada região. Além do critério da distância entre os diversos distritos, utiliza informações relativas à população, a probabilidade de ocorrerem incidentes em cada um destes distritos e um “índice de risco” que pondera o valor das distâncias entre cada setor, ou seja, os distritos com maior população e com maior probabilidade de acidentes que demande atendimento emergencial, são privilegiados na distribuição espacial das unidades.

Ele trata em separado a alocação espacial e temporal quando propõe o modelo utilizado.

O modelo proposto que trata a distribuição espacial consiste em:

$$\text{Minimizar } Z = \min \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m d_{ij} x_{ij} a_i \right) \quad (50)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (51)$$

onde

$y_j = 1$ se uma viatura (unidade) é baseada no local j , ou 0 nos demais casos.

$a_i =$ fator de ponderação do custo para atender o setor i .

$x_{ij} = 1$ se a facilidade no local j atende a zona i , 0 nos outros casos.

d_{ij} é o “custo” de atender a zona i a partir da estação j .

Significa que o número p de unidades a serem localizadas é pré-fixado;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (52)$$

Garante que todos os setores serão atendidos por uma unidade de emergência;

$$y_j \geq x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (53)$$

Assegura que a zona i pode ser servido apenas por unidades estabelecidas, isto é, se $x_{ij} = 1$ então y_j também deve ser igual a 1.

$$y_j, x_{ij} \in (0, 1) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (54)$$

Além disso, se algum setor j , por algum motivo anteriormente estabelecido, deve possuir uma unidade de emergência fixa-se o correspondente y_j para ser 1; enquanto que se não for possível se locar a facilidade naquele local, deve-se fixar y_j para ser igual a zero.

Observa-se que o número de facilidades p é dado exogeneamente, o que pode ser considerado como uma simplificação. O ideal é fazer uma ligação explícita entre o número de facilidades e os custos decorrentes dos incidentes.

Impondo um custo fixo f_j para localizar uma facilidade num local qualquer j e fazendo o número de viaturas dependente da minimização do custo total para localização das unidades, torna-se necessário acrescentar um termo adicional na função objetivo (50) substituindo a restrição (51).

$$\sum_{j=1}^m f_j y_j \quad (55)$$

Outra relação que pode ser expresso entre o custo de implantação das facilidades e o custo dos incêndios é adicionar a componente de custo na função objetivo e remover a restrição de p facilidades. O modelo matemático formulado será:

$$\text{Minimizar } Z = \min \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^m f_j y_j \right) \quad (56)$$

Sujeito às restrições (52) até (54), onde f_j é o custo fixado para estabelecer uma facilidade no local j .

Uma outra consideração prática pode requerer que, pelo menos c das facilidades existentes localizadas no conjunto C dos locais viáveis, devam permanecer no novo projeto. Torna-se necessário, então, uma restrição adicional.

$$\sum_{y_j \in C} y_j \geq c \quad (57)$$

Para evitar que se obtenha uma solução ótima na qual o número de viaturas localizadas se torne exagerado, se pode incluir a seguinte restrição que limita o custo máximo de deslocamento ou de operação das unidades que podem ser localizadas em alguma zona.

$$x_{ij} d_{ij} \leq d_i^* \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (58)$$

Onde d_i^* é o custo máximo admissível (custo de viagem, distância, prejuízos, etc.) para um incidente no setor i . O valor de d_i^* pode ser especificado pelo administrador do sistema.

O autor observa que para um incêndio pode ser admitida a possibilidade da chegada de várias viaturas, tornando-se necessário a inclusão de novas restrições. Para melhor entendimento considerar-se-á apenas a possibilidade de chegada da primeira e segunda viaturas e as seguintes condições:

1. Prevenir que uma mesma viatura não seja atribuída como a primeira e a segunda unidade.
2. Assegurar que exatamente duas unidades de emergência sejam atribuídas para cada zona.
3. Limitar a distância de viagem ou o tempo resposta máximo que uma viatura deva percorrer até atingir o ponto de origem da chamada.

Para diferenciar as variáveis associadas com a segunda unidade introduziu-se a notação apostrofe (').

$x'_{ij} = 1$ se o local j tem a possibilidade de ser atendido pela 2ª unidade oriunda da zona i , ou zero nos demais casos.

d_i^* é o máximo custo de viagem admitido para a 2ª unidade oriunda da zona i para atender a zona j .

Para se prevenir que a mesma viatura não seja designada como primeira e segunda unidade de emergência a ser enviada para o incêndio, faz-se:

$$x_{ij}' + x_{ij}'' \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (59)$$

Para se assegurar que cada zona i também possua uma segunda viatura para atendê-lo, introduz-se:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}'' = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (60)$$

Para garantir que a segunda viatura atribuída para atender o incidente na zona i tenha um custo de viagem menor ou igual a d_i^* se requer:

$$x_{ij}'' d_{ij} \leq d_i^* \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (61)$$

Naturalmente, como no caso de viatura única, deve se assegurar que o local j tem a responsabilidade de atender a zona i com a segunda unidade, então no local j deve existir uma facilidade estabelecida, isto é:

$$y_j \geq x_{ij}'' \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (62)$$

Quando propõe o modelo que trata a distribuição temporal, leva em consideração os seguintes pontos:

1. Crescimento probabilístico da demanda

Souza (1996), utilizando a teoria de Feller (1957), apresentou que uma forma de projetar a demanda levando em consideração as variações aleatórias é o de representá-la através de um *processo de difusão*.

Para isso considerou um passeio aleatório (*random walk*) unidimensional, que se inicia na origem, e seja $p_{x,n}$ a probabilidade que no n – ésimo estágio o processo leve o elemento a posição x .

Se r dentre os n estágios são direcionados à direita (sentido crescente de x) e $l = n - r$ estágios são direcionados à esquerda, o deslocamento resultante será $r - (n - r) = 2r - n$ unidades. Considerando a evolução em deslocamentos unitários iguais, discretos, então para que x seja o estágio final do processo, com $x = 2r - n$,

é necessário que x e n sejam ambos pares ou ímpares. Uma vez respeitada tal condição, tem-se:

$$r = \frac{1}{2}(x - n) \quad \text{e} \quad l = (n - r) = \frac{1}{2}(n - x) \quad (63)$$

Transcorridos n estágios, r estágios à direita podem ocorrer de $\binom{n}{r}$ formas diferentes e portanto:

$$r_{x,n} = \binom{n}{r} p^r q^l \quad (64)$$

onde p é a probabilidade de evolução à direita num estágio, sendo $q = 1 - p$ a probabilidade de deslocamento à esquerda, também no mesmo estágio.

Estamos interessados em aplicações reais em que o deslocamento Δx , num estágio, seja muito pequeno. Da mesma forma, as transições ocorreriam em intervalos de tempo Δt também infinitesimal. Decorrido um tempo t desde o início do processo, tem $t/\Delta t$ saltos unitários. A escolha de Δx e Δt no entanto não pode ser arbitrária por razões de convergência (FELLER, 1957). Considera, inicialmente, um deslocamento unitário igual a Δx . Como esse deslocamento pode ocorrer para a direita, com probabilidade p , ou para a esquerda, com probabilidade q , o valor esperado da coordenada resultante é:

$$E[x_u] = p\Delta x - q\Delta x = (p - q)\Delta x \quad (65)$$

A variância é dada por:

$$Var[x_u] = p(\Delta x - E[x])^2 + q(-\Delta x - E[x])^2 = 4pq(\Delta x)^2 \quad (66)$$

Após decorrido um tempo t desde o início do processo, foram observados $t/\Delta t$ deslocamentos unitários independentes, levando à $x = x_u t/\Delta t$. O valor esperado de x é dado por:

$$E[x] = \frac{t}{\Delta t} E[x_u] = t(p - q) \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (67)$$

e a variância:

$$Var[x] = \frac{t}{\Delta t} Var[x_u] = 4pqt \frac{(\Delta x)^2}{\Delta t} \quad (68)$$

No limite deseja manter $Var[x]$, finita, e assim a relação $(\Delta x)^2/\Delta t$ deve ser mantida fixa. Da mesma forma deve-se fixar $p - q = k\Delta x$, para que, substituindo em (67), se tenha $E[x] = kt(\Delta x)^2/\Delta t$, dessa forma, também mantido finito. Podemos fixar a variância da seguinte forma (FELLER, 1957):

$$\sigma^2 = \frac{(\Delta x)^2}{\Delta t} \quad (69)$$

$$\text{com } \begin{cases} p = \frac{1}{2} + \frac{\mu \Delta x}{2\sigma^2} \\ q = \frac{1}{2} - \frac{\mu \Delta x}{2\sigma^2} \end{cases} \quad (70)$$

O número de deslocamentos realizados é de aproximadamente $n = t/\Delta t$. O deslocamento total, ao fim das n transições, com probabilidades p e q constantes, é o resultado de n testes de Bernoulli. Para n grande, a distribuição resultante se aproxima assintoticamente de uma distribuição normal com:

$$E[x/t] = t(p - q) \frac{\Delta x}{\Delta t} = t \frac{\mu \Delta x}{\sigma^2} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \mu t \quad (71)$$

$$\text{Var}[x/t] = 4pqt\sigma^2 = \sigma^2 t - \frac{\mu^2 (\Delta x)^2}{\sigma^2} t \xrightarrow{\Delta x \rightarrow 0} \sigma^2 t \quad (72)$$

Suponha, por exemplo, que decorreu um tempo t a partir do instante inicial, com crescimento médio da demanda (linear) de μ unidades por unidade de tempo e desvio padrão σ por unidade de tempo. A expansão acumulada tem valor esperado $y = \mu t$ e desvio padrão $\sigma_y = \sigma \sqrt{t}$. A probabilidade de se observar y menor ou igual a um nível v pré-definido é dado então pela distribuição normal reduzida:

$$F(y) = \Pr(y \leq v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^v \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right) dz \quad (73)$$

onde z é uma variável normal reduzida:

$$z = \frac{y - \mu t}{\sigma \sqrt{t}} \quad (74)$$

2. Tempo de primeira passagem num certo nível de demanda

Seja $u(x, n)$ a probabilidade de *primeira passagem* do processo no nível x , para n estágios, ou seja, a probabilidade de o processo, tendo partido da origem, atinga, pela primeira vez, o nível x após exatamente n estágios (FELLER, 1957). A seguinte equação de diferenças, representado o processo estocástico da primeira passagem, é satisfeita para este caso (Manne, *apud* SOUZA, 1996, p. 65):

$$u(x, n+1) = p \cdot u(x-1, n) + q \cdot u(x+1, n) \quad (75)$$

ou seja, a evolução do processo, do estágio n para o estágio $n + 1$, atingindo o nível x , pode ser explicado de duas formas: ou o processo estava no nível $x - 1$, no estágio n , tendo ocorrido um deslocamento positivo Δx com probabilidade p , ou o processo estava no nível $x + 1$, no estágio n , e houve um deslocamento $-\Delta x$, com probabilidade q .

A equação (75) pode ser reescrita em função dos incrementos Δx e Δt :

$$u(x, t + \Delta t) = p \cdot u(x - \Delta x, t) + q \cdot u(x + \Delta x, t) \quad (76)$$

Subtraindo $u(x, t)$ de ambos os membros de (76) e lembrando, que:

$$u(x, t) = (p + q) \cdot u(x, t) = p \cdot u(x, t) + q \cdot u(x, t)$$

tem-se:

$$u(x, t + \Delta t) - u(x, t) = p[u(x - \Delta x, t) - u(x, t)] + q[u(x + \Delta x, t) - u(x, t)] \quad (77)$$

A fórmula de Taylor, para expansão incremental, é

$$f(x + h) = f(x) + h \cdot f'(x) + \frac{h^2}{2!} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \dots \quad (78)$$

Desprezando os termos de ordem superior à segunda e aplicando separadamente a fórmula de Taylor às expressões entre colchetes do segundo membro de (77), tem-se:

$$\begin{aligned} u(x, t + \Delta t) - u(x, t) &= p \left[(-\Delta x) \cdot \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right] + q \left[(+\Delta x) \cdot \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right] \\ &= (q - p) \Delta x \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + (p + q) \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \\ &= (q - p) \Delta x \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (79)$$

Multiplicando e dividindo o primeiro membro de (79) por Δt e levando ao limite, tem-se:

$$\Delta t \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = (q - p) \Delta x \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \quad (80)$$

Substituindo p e q pelos seus valores dados por (70), e σ^2 por (69), observa-se que:

$$(q - p) \frac{\Delta x}{\Delta t} = -\mu \quad \text{e} \quad \frac{(\Delta x)^2}{2 \Delta t} = \frac{\sigma^2}{2}$$

então, a expressão (80) pode ser re-escrita como:

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = -\mu \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + \frac{\sigma^2}{2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \quad (81)$$

A transformada de Laplace da função densidade de probabilidade $u(x,t)$ em t , é definida por (Souza, 1996):

$$U^T(x,r) = \int_0^{\infty} u(x,t) e^{-rt} dt \quad (82)$$

A transformada de Laplace da (81) (Souza, 1996) é:

$$rU^T(x,r) = -\mu \frac{\partial U^T(x,r)}{\partial x} + \frac{\sigma^2}{2} \frac{\partial^2 U^T(x,r)}{\partial x^2} \quad (83)$$

Colocando a equação acima na forma canônica, tem-se:

$$\frac{\partial^2 U^T(x,r)}{\partial x^2} - \frac{2\mu}{\sigma^2} \frac{\partial U^T(x,r)}{\partial x} - \frac{2r}{\sigma^2} U^T(x,r) = 0 \quad (84)$$

A equação característica é:

$$\lambda^2 - \frac{2\mu}{\sigma^2} \lambda - \frac{2r}{\sigma^2} = 0 \quad (85)$$

que fornece as raízes:

$$\lambda_1 = \frac{\mu}{\sigma^2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2r\sigma^2}{\mu^2}} \right] \quad (86)$$

$$\lambda_2 = \frac{\mu}{\sigma^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2r\sigma^2}{\mu^2}} \right] \quad (87)$$

Tendo a seguinte solução geral para a equação (84) (Souza, 1996):

$$U^T(x,r) = A \cdot e^{\lambda_1 x} + B \cdot e^{\lambda_2 x} \quad (88)$$

As condições de contorno são duas. Em primeiro lugar $U^T(x,r)$ deve estar compreendido entre zero e a unidade, para $r \geq 0$. Em segundo lugar, sendo $u(x,t)$ uma função densidade de probabilidade variando ao longo de t , a integral

$$\int_0^{\infty} u(x,t) dt$$

é obrigatoriamente igual a unidade. Desta forma, ao se fazer $r = 0$ em (82), a transformada de Laplace deve ser igual a unidade, ou seja, $U^T(x,0) = 1$, sendo esta a segunda condição de contorno.

Uma vez que $\lambda_1 > 0$, para que $U^T(x, r)$ em (88) seja não negativa e menor do que a unidade, é necessário que $A = 0$. Por outro lado, colocando $r = 0$ obtendo $\lambda_2 = 0$ e portanto, $U^T(x, 0) = B = 1$.

Dessa forma a transformada de Laplace de $u(x, t)$ é dada por:

$$U^T(x, r) = e^{\lambda_2 \cdot x} \quad (89)$$

com λ_2 dado por (87).

Seja t_x o tempo de primeira passagem do processo pelo nível x , e aplicando as propriedades da transformada de Laplace para determinar $E[t_x]$ e $Vat[t_x]$. Souza (1996), observa que admitindo $E[t_x]$ suficientemente elevado, a distribuição de t_x

pode ser aproximada por uma normal de média $\frac{x}{\mu}$ e desvio padrão $\frac{\sigma}{\mu} \sqrt{\frac{x}{\mu}}$.

3. Tempo de primeira passagem para crescimento não linear

No desenvolvimento anterior o processo de difusão ocorria com crescimento linear da demanda x , com $E[x/t] = mt$ e $Var[x/t] = s^2 t$, conforme relações (71) e (72). Suponha que a expansão da demanda se dá segundo uma função monotônica de $h(x)$ representando um crescimento não linear.

Freidenfelds (*apud* SOUZA, 1996, p. 72) demonstrou que a transformada de Laplace resultante do tempo da primeira passagem é:

$$U^T(x, r) = \exp\left[\frac{-r h(x)}{g}\right] \quad (90)$$

onde $g = -\frac{r}{\lambda_2}$ é um coeficiente.

Srinivasan (*apud* SOUZA, 1996, p. 72) já havia expandido o resultado anterior de Manne (1961) para crescimento geométrico através de desenvolvimento diferente. Observou que, devido ao fato do valor esperado e a variância do tempo de primeira passagem dependerem tão somente das derivadas da equação

$Var[t_x] = \frac{\partial^2 U^T(x, r)}{\partial r^2} \Big|_{r=0} - (E[t_x])^2 = \frac{x\sigma^2}{\mu^3} = E[t_x] \frac{\sigma^2}{\mu^2}$ em relação a r , e que, por outro lado,

$h(x)$ não é função de r , conclui-se imediatamente que:

$$E[t_x] = \frac{h(x)}{\mu} \quad (91)$$

e

$$Var[t_x] = \frac{\sigma^2}{\mu^3} h(x) = \frac{\sigma^2}{\mu^2} E[t_x] \quad (92)$$

4. Várias unidades de serviço concorrendo simultaneamente

Admita que, num certo instante de tempo, esteja em operação um certo número de unidades de serviço. Essas unidades atendem m setores cujas populações (e conseqüentes níveis de demanda) crescem de formas diversas no tempo.

Suponha que, analisando o esquema atual de serviço, concluiu-se que as unidades disponíveis têm capacidade para atender os diversos setores até os níveis D_1, D_2, \dots, D_m . Será necessário reavaliar o sistema assim que for atingido qualquer um dos níveis indicados acima. No momento presente (situação de referência) são observados os níveis de demanda $D_j^{(0)}$, onde o j representa o setor. O crescimento da demanda é descrito por um processo geométrico, de taxa μ_j' (Srinivasan, *apud* SOUZA, 1996, p. 72):

$$D_j(t) = D_j^{(0)} \cdot \exp[\mu_j' t] \quad (93)$$

onde μ_j' é a taxa geométrica dada por:

$$\mu_j' = \ln(1 + \mu_j) \quad (94)$$

sendo μ_j a taxa aritmética equivalente. Seja D_j^* o nível crítico de demanda para o setor j , isto é, o ponto em que as unidades de atendimento, ou parte delas, se tornam congestionadas de acordo com um determinado critério (nível de serviço) pré-estabelecido. O tempo esperado t_j para a demanda no setor j atingir o nível D_j^* é calculado através da relação:

$$D_j^* = D_j^{(0)} \exp[\mu_j' E[t_j]] \quad (95)$$

levando à:

$$E[t_j] = \frac{\ln D_j^* - \ln D_j^{(0)}}{\mu_j'} \quad (96)$$

com variância dado por:

$$Var[t_j] = \frac{\sigma_j^2}{\mu_j^2} E[t_j] \quad (97)$$

Seja τ o menor valor observado entre os tempos de primeira passagem t_1, t_2, \dots, t_j dos m setores, ou seja:

$$\tau = \text{Min}(t_1, t_2, \dots, t_j) \quad (98)$$

Seja a F_i a função de repartição da variável aleatória τ e G_i sua complementar, ou seja:

$$G_i(x) = \text{prob}(x > \tau) = 1 - \text{prob}(x \leq \tau) = 1 - F_i(x) \quad (99)$$

Da mesma forma, defini-se as funções de repartição F_1, F_2, \dots, F_m e suas complementares G_1, G_2, \dots, G_m , para os tempos de primeira passagem t_1, t_2, \dots, t_m . Admitindo-se independência estatística entre o crescimento da demanda nos vários setores, pode-se escrever:

$$\text{prob}(> \tau) = \text{prob}(t_1 > \tau) \cdot \text{prob}(t_2 > \tau) \cdot \dots \cdot \text{prob}(t_m > \tau) \quad (100)$$

ou seja:

$$G_\tau(\tau) = G_1(\tau) \cdot G_2(\tau) \cdot \dots \cdot G_m(\tau) \quad (101)$$

ou ainda

$$1 - F_\tau(\tau) = [1 - F_1(\tau)] \cdot [1 - F_2(\tau)] \cdot \dots \cdot [1 - F_m(\tau)]$$

então

$$F_\tau(\tau) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - F_j(\tau)] \quad (102)$$

Nas condições práticas comuns, as distribuições de t_1, t_2, \dots, t_j , bem como a distribuição de τ podem ser aproximadas por distribuições normais. Nesse caso o valor esperado de τ coincide com a mediana e, portanto, $F_\tau(\bar{\tau}) = 0,5$.

O método para determinar $\bar{\tau} = E[\tau]$ é iterativo, procurando-se o valor de τ , dado (102), que iguale a expressão à 0,5.

No modelo de distribuição temporal das unidades de emergência considera-se que o processo deverá ser revisto tão logo a demanda de um dos setores sature a capacidade de atendimento da unidade que o atende, ou seja se deve determinar o tempo τ da primeira passagem do processo pelo nível x , que representa o ponto em que o primeiro setor tenha sua capacidade de atendimento esgotada.

Para o caso com demanda determinística, τ é o menor dos t_j , onde:

$$t_j = \frac{D_j^* - D_j^{(0)}}{\mu_j} \quad (103)$$

Sendo:

D_j^* representa a demanda máxima que a unidade de serviço baseada em j tem a capacidade de atender (nível crítico da demanda);

$D_j^{(0)}$ representa o nível atual da demanda e;

μ_j representa o crescimento linear médio da demanda.

Já para o caso com demanda determinística, porém com crescimento linear, τ poderá ser obtido através da seguinte relação:

$$t_j = \frac{\ln(D_j^*/D_j^{(0)})}{\mu_j'} \quad (104)$$

onde μ_j' representa a taxa geométrica de crescimento da demanda, dada por

$$\mu_j' = \ln(1 + \mu_j)$$

Em ambos casos acima, tem-se:

$$E[t_x] = \frac{x}{\mu} \quad \text{e} \quad \text{Var}[t_x] = 0 \quad (105)$$

Evidentemente, a possibilidade de existir uma região onde o crescimento da demanda para serviços emergenciais tenha comportamento determinístico, é muito remota. O natural e o mais provável é que a demanda tenha comportamento aleatório com tendência de crescimento. Então, neste caso, é necessário se levar em conta esta aleatoriedade, considerando-se, também, que a região estará dividida em m setores, atendidos por várias unidades de emergência.

Resumindo, se a demanda tiver crescimento linear porém probabilístico, o problema de determinar o tempo de primeira passagem pode ser resolvido pela seguinte relação:

$$E[t_\tau] = \frac{D_j^* - D_j^{(0)}}{\mu_j} \quad (106)$$

Quando a demanda apresenta crescimento exponencial, a equação fica:

$$D_j^* = D_j^{(0)} \exp[\mu_j' E[t_j]] \quad (107)$$

Sendo $E[t_j]$ o tempo esperado para que a demanda atinja o nível crítico D_j^* , levando à:

$$E[t_j] = \frac{\ln D_j^* - \ln D_j^{(0)}}{\mu_j} \quad (108)$$

com a variância dada por

$$Var[t_j] = \frac{\sigma_j^2}{\mu_j^2} E[t_j] \quad (109)$$

Necessário torna-se, por isso, definir qual o nível de demanda D_j^* que representa a demanda máxima para a qual unidade de serviço baseada nos setores definidos pelo processo de alocação espacial atingiu o seu ponto de saturação e, conseqüentemente, não possa atender a contento sua área de influência.

Além da restrição do tempo máximo de resposta, definiu-se como saturado o setor no qual os usuários tenham uma determinada possibilidade de aguardar numa fila até que se tenha uma viatura disponível para atendê-los.

O ideal é que, sempre que o cidadão se encontre numa situação de emergência, seja imediatamente atendido. Porém, considerando a aleatoriedade das ocorrências, projetar um sistema que não exista possibilidade de fila, seria por demais oneroso. Adota-se, por isso, como restrição adicional ao modelo, uma possibilidade máxima de ocorrência de fila no sistema.

Levando em conta essa observação, pode-se considerar os seguintes casos:

a) Atendimento isolado: Cada unidade atende tão somente uma zona: Fila M/M/1.

A probabilidade de não haver fila é dado por (Novaes, 1975):

$$\pi_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \quad (110)$$

onde:

λ é a media diária de ocorrências (chamadas emergenciais)

μ é a capacidade de atendimento por dia.

Portanto, a possibilidade de existir fila é dado por:

$$pf = 1 - \pi_0 = \frac{\lambda}{\mu} \quad (111)$$

Conseqüentemente a taxa crítica de atendimento (demanda crítica) é:

$$\lambda_{\text{crítico}} = \mu pf \quad (112)$$

b) Atendimento conjunto: As unidades podem atuar em conjunto atendendo várias zonas simultaneamente, ou seja fila M/M/n, onde n é o número de unidades disponíveis.

A probabilidade de não haver fila é dado por (Novaes, 1975):

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n\rho)^j}{j!} + \frac{(n\rho)^n}{n!(1-\rho)}} \quad (113)$$

onde:

$$\rho = \frac{\lambda}{n\mu} \quad (114)$$

Como $\pi_0 = 1 - pf$, tem-se:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i(t)}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (115)$$

Sabendo que: $\lambda_i(t) = \lambda_i e^{-\mu t}$ e procura-se um τ tal que $\rho = \rho_0$.

4 TEORIA DE AGENTES

O uso do termo **agente** tem aumentado rapidamente em publicações técnicas durante os últimos anos. Esse termo não está ligado a uma definição exata que seja aceitável nas diversas áreas do conhecimento. Em alguns casos é até definido em termos de como ele difere de conceitos reconhecidos, tais como o paradigma orientado a objeto ou nas técnicas comum de cliente/servidor.

Tecnologia de agente é atualmente uma das áreas mais vibrantes e ativas de pesquisa e desenvolvimento em informática. Está sendo atualmente aplicado dentro de diversos domínios como recuperação de informação, delineamento de interface de usuário, robótica, colaboração mediante a computador, jogos de computador, educação e treinamento, ambientes inteligentes, simulação social, internet e sistemas de comércio eletrônicos.

Não é somente uma tecnologia muito promissora, eles estão emergindo como uma nova maneira de pensar, um paradigma conceitual para analisar problemas e delinear sistemas, por lidar com complexidade, distribuição e interatividade, e talvez uma perspectiva nova em computação e inteligência. Para realizar essa promessa são requeridos avanços adicionais em arquiteturas de agentes, linguagens, teorias e técnicas de delineamento.

Na literatura computacional, o termo **agente** é utilizado para especificar sistema de computador capaz de ações autônomas flexível dentro de domínios dinâmico e imprevisível que não precisam, necessariamente, apresentar um comportamento "inteligente". Obviamente, torna-se difícil estabelecer o que seria um comportamento inteligente, uma vez que o termo "inteligência" ainda é causa de controvérsia entre os estudiosos da Inteligência Artificial (IA). Discussões sobre este problema podem ser encontrados em (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995), em seu estudo sobre agentes inteligentes. A questão sobre estabelecer um conceito para agentes não é um problema apenas entre as diversas áreas da Computação. Segundo Franklin e Graesser (1996), mostram que os pesquisadores envolvidos com pesquisas de agentes inteligentes oferecem uma grande variedade de definições sobre o tema, cada um tentando definir **agente** dentro dos objetivos fixados pelos seus trabalhos.

Como apresentados por Hendler (*apud* COSTA, 1999, p. 12), pode-se afirmar que os pesquisadores em agentes inteligentes procuram, de forma geral,

desenvolver programas sofisticados que podem ser úteis em ambientes de importância para os humanos. Estes ambientes podem variar desde dos locais físicos de difícil acesso ou perigosos para os humanos até domínios virtuais, como as redes de computadores.

Spector (*apud* COSTA, 1999, p. 12), enfatiza que um agente pode ser qualquer sistema autônomo que percebe e age para alcançar um estreito conjunto de metas dentro de um específico ambiente virtual ou real. Os sistemas tradicionais de IA têm sido projetados para operar sob o controle do usuário e sobre um olho cuidadoso, enquanto agentes são lançados no mundo para agir com autonomia, geralmente sob suas próprias crenças. Ainda acredita que uma característica positiva dos agentes é sua facilidade de implementação, uma vez que são programas para atuar sob sistemas autônomos e limitados.

Maes (*apud* COSTA, 1999, p. 12) relata que já foram consumido grande quantidade de trabalho na modelagem e construção de agentes e que as técnicas disponíveis atualmente não estão sendo capazes de produzir interações com humanos de alto nível, não acreditando que a construção de agentes seja tão simples, uma vez que agentes diferem de programas tradicionais principalmente pela capacidade de serem entidades independentes que devem aprender da experiência e responder a situações previstas com um grande número de métodos diferentes.

Knapik e Johnson (*apud* COSTA, 1999, p. 13) acreditam que agentes se tornarão cada vez mais permanentes nos sistemas computacionais e de comunicação. O motivo principal desta afirmação é a versatilidade dos agentes. Eles podem oferecer serviços como introduzir inteligência às interfaces atuais, mapear informação em conhecimento, realizar comércio eletrônico, além de atuar como procuradores para os usuários nas mais diversas situações.

Para demonstrar a grande abrangência de atuação dos agentes inteligentes pode-se verificar algumas possíveis aplicações (COSTA, 1999):

- **Assistentes pessoais:** Sistemas completos e independentes que planejam, organizam e otimizam tarefas de produtividade pessoais. Aplicações possíveis incluem filtragem de correio eletrônico e sistemas de classificação, programadores automáticos de reuniões, além de diversos filtros de informação.

- **Sistema para atender visitantes:** O atendimento e programação de atividades, reuniões e eventos com a participação dos visitantes no local são organizados e coordenados através da operação de agentes locais com os assistentes pessoais dos visitantes.
- **Exploração de informação (*Data Mining*):** Agentes específicos em informações fornecem um contexto para busca de dados em grandes bancos de dados ou outras fontes de informação, que em cooperação com agentes pessoais, selecionarão informação útil. Este campo é um dos que estão em mais rápido desenvolvimento no momento, pela explosão da necessidade de buscar informações através de redes de computadores.
- **Gerenciamento de redes:** Agentes colaborativos coletam e trocam informação local sobre as estatísticas da rede para alcançar automação e otimização das decisões nas tarefas de administração de rede tais como roteamento, acesso, provisão de serviços, monitoramento e avaliação estatística, dentro de uma visão global.
- **Controle de Tráfego Aéreo/Terrestre:** Um sistema multi-agente pode ser instalado em locais de controle de veículos em trânsito para ajudar a resolver decisões de roteamento e programação.
- **Manufatura e Programação da Produção:** Uma coleção de agentes tentam negociar, a partir de um conjunto determinado de metas e restrições, qual a melhor seqüência de eventos dentro do chão de fábrica para maximizar a produtividade.

4.1 Histórico

Durante os anos 80, a comunidade de Inteligência Artificial, preocupada pela falta de progresso, após 30 anos de pesquisa em projetos de sistema, começou a explorar novas áreas onde sistemas de IA pudessem ter um domínio mais dinâmico. Ao invés de olhar para resultados simulados, simbólicos em mundos artificiais, começaram a explorar as possibilidades de interações complexas com o mundo físico, através de um mecanismo denominado agentes.

Vários pesquisadores como Marvin Minsky, Oliver Selfridge, Alan Kay, Nicholas Negroponte, Rodney Brooks e Pattie Maes, passaram a estudar problemas que pudessem demonstrar algum tipo de comportamento dos agentes.

Ao mesmo tempo, uma outra comunidade estava se formando usando também o termo agente. Era a comunidade de agente de software, que estava explorando o desenvolvimento de partes de código menores e mais confiáveis. A idéia era desenvolver programas que pudessem agir separadamente, podendo mover informações entre dois ambientes distintos.

Entretanto, uma barreira surgiu para a comunidade científica, a quantidade de termos usados para descrever agentes: *intelligent agents*, *intelligent interfaces*, *adaptive interfaces*, *knowbots*, *knobots*, *softbots*, *userbots*, *taskbots*, *personal agents* e *network agents*, dentre outras.

Kay (*apud* COSTA, 1999, p. 13), a idéia de agentes foi originada em meados da década de 50 com John McCarthy e Oliver Selfridge. Eles tinham em mente um sistema onde dada uma meta, uma seqüência de ações seria executada na tentativa de satisfazer aquela meta. Este sistema também poderia solicitar ajuda quando necessário. Um agente seria um robô virtual (*soft robot*) vivendo e realizando seus negócios dentro de um universo computacional.

Segundo Costa (1999), os primeiros agentes trabalhavam na resolução de problemas usando heurísticas ou métodos baseados em conhecimento. Alguns destes agentes poderiam ainda planejar, aprender e modificar suas percepções sobre o ambiente no qual estavam inseridos. Estas características ainda estão presentes em um grande número de aplicações da IA.

Na década de 70, Hewitt (*apud* COSTA, 1999, p. 14), propôs um agente com o conceito de um objeto auto-suficiente, interativo e com execução concorrente, o qual ele denominava **ator**. Este objeto teria alguns estados internos encapsulados e responderia a mensagens de objetos similares.

Entretanto, o crescente interesse por paralelismo e distribuição na IA marcou a última década. De acordo com Bond (*apud* COSTA, 1999, p. 14), o desenvolvimento de poderosos computadores, a proliferação de redes de computadores e a consideração sobre o uso de grupos de indivíduos para resolver problemas fizeram com que a Inteligência Artificial Distribuída (IAD) se tornasse uma área emergente.

Nwana (*apud* COSTA, 1999, p. 14), também enfatiza o crescimento da IAD e separa as pesquisas realizadas na área em duas linhas distintas: a primeira do período de 1977 até os dias atuais, e a segunda partindo de 1990. A primeira linha trabalha com agentes ativos, estando mais relacionados a tipo de agente

deliberativo com modelos simbólicos internos. Um agente deliberativo é aquele que possui uma representação explícita, um modelo simbólico do mundo, e cujas decisões (ações a executar) são realizadas através de um raciocínio simbólico (Wooldridge e Jennings, 1995). A segunda linha de pesquisa, em rápido desenvolvimento, enfatiza a diversificação das tipologias ou classes de agentes, onde os agentes apresentam uma evolução em sua inteligência e autonomia.

Chaib-draa (*apud* COSTA, 1999, p. 14), considera que a motivação para a IAD pode ser caracterizada pelos seguintes tópicos:

- Necessidade de manipular conhecimento distribuído em aplicações geograficamente dispersas.
- Ampliação da cooperação homem-máquina através da distribuição de homens e máquinas.
- Inovações na representação de conhecimento e resolução de problemas, aproximando-se mais da realidade.
- Descoberta de um novo foco sobre as ciências cognitivas e inteligência artificial.

Oliveira (*apud* COSTA, 1999, p. 14), define IAD como sendo o estudo computacional da conduta inteligente, resultando na interação de diversas entidades autônomas. Estas entidades são usualmente chamadas de agentes, e o sistema como um todo é usualmente chamado de sociedade. Os conceitos de interação e conduta social também estão presentes no trabalho de Sichman et al (*apud* COSTA, 1999, p. 13). Sichman considera que estes aspectos podem ser utilizados para a construção de uma inteligência coletiva. Este item em particular diferencia a IAD da IA tradicional, a qual trabalha com representação do conhecimento e métodos de inferência voltados para a construção de uma inteligência individual.

A Inteligência Artificial Distribuída pode ser subdividida em duas grandes áreas:

- Sistemas Multi-Agentes (MAS – *Multi-Agent Systems*)
- Resolução Distribuída de Problemas (DPS – *Distributed Problem Solving*)

Entretanto, a divisão apresentada procura mostrar os diferentes tipos de

problemas, além de tentar evitar o mau uso do termo. De acordo com Scherer e Schlageter (*apud* COSTA, 1999, p. 15) o principal ponto de pesquisa em MAS está focado na coordenação. Estes autores continuam afirmando que as abordagens MAS atuais possuem um aspecto inerentemente estático. MAS são projetos para seguir uma filosofia *top-down*, onde, normalmente, não é permitido a adição ou remoção dinâmica de agentes. Além disso, ambientes MAS têm usado um forte acoplamento, onde os agentes não têm capacidade de decidir por si próprios se devem ou não cooperar.

Segundo Durfee e Rosenschein (*apud* COSTA, 1999, p. 15), sistemas DPS procuram trabalhar na base da confiança, sinceridade, divisão de tarefas e outras propriedades que são muito difíceis de serem alcançadas em uma coleção de indivíduos. Sendo assim, os sistemas MAS basearam-se na teoria dos jogos para demonstrar que um agente precisa ser racional, ou seja, todas as suas ações devem ser no sentido de maximizar o seu próprio custo/benefício. Eles não procuraram separar totalmente sistemas DPS de sistemas MAS, mas apresentou três visões de relacionamento entre os mesmos. Em uma primeira proposta, sistemas DPS podem ser vistos como sendo um subconjunto dos sistemas MAS. Nesta situação, um sistema MAS assegura algumas propriedades como metas comuns e projeto centralizado. Na segunda proposta, os sistemas MAS fornecem a base para os sistemas DPS. Sendo assim, um sistema MAS procura trabalhar com a individualidade e o interesse próprio de cada agente para definir como serão feitas as interações com outros agentes. O sistema DPS procura então, verificar como estas interações podem ser exploradas de forma a resolver algum problema mais global. Na terceira proposta, os sistemas MAS são vistos como sendo complementares aos sistemas DPS. Neste caso, um sistema MAS procura responder de que forma algumas propriedades coletivas podem ser percebidas em um ambiente particular. Enquanto, sistemas DPS procuram responder como uma coleção particular de agentes pode obter algum desempenho eficiente se as propriedades do ambiente são dinâmicas e não controláveis.

Tanto em problemas MAS quanto em problemas DPS, existem diversos agentes compartilhando um mesmo ambiente. A principal diferença está na forma de interação entre os agentes. Em um modelo DPS, os agentes buscam a cooperação para alcançar suas metas (por este motivo, problemas deste tipo são também conhecidos por problemas DPS cooperativos). Neste caso, os agentes lidam com

problemas que estão além de suas capacidades individuais e apenas a cooperação mútua permitirá a resolução do problema global. Em um modelo MAS, os agentes competem por recursos e precisam atuar coletivamente para identificar e resolver conflitos. Ao mesmo tempo, os agentes procuram se beneficiar com as ações tomadas por outros agentes.

4.2 Definições de Agentes

Como enfatizado anteriormente, existem diversas definições para agente. Normalmente, estas definições estão associadas a diferentes pontos de vista e dependem muito da funcionalidade fornecida pelo agente em questão. Entretanto, a visão de vários conceitos auxilia no processo de entendimento de aspectos importantes que envolvem o termo agente. Este trabalho procura abordar apenas agentes de software, embora muitas das características que serão discutidas podem estar presentes em agentes de hardware.

Wooldridge e Jennings (1995) propõem dois enfoques para conceituar agente inteligentes:

- **Fraca Noção de Agência** – Este é um enfoque mais geral em que o termo agente é utilizado para denotar um *hardware* ou sistema de computador baseado em *software* que possuam as seguintes propriedades: autonomia, habilidade social, reatividade, pró-atividade.
- **Forte Noção de Agência** – Este enfoque geralmente identifica um agente por ser um sistema de computador que, em adição as propriedades identificadas anteriormente, é então conceituado ou implementado usando conceitos que são mais usualmente aplicados a seres humanos, tais como: conhecimentos, crenças, intenções e obrigação.

Agentes com forte noção de agência, geralmente possuem uma ou mais das seguintes propriedades: mobilidade, veracidade, benevolência e racionalidade.

Seguindo a mesma linha de raciocínio da definição anterior, Genesereth e Ketchpel (1994), descrevem agentes como componentes de software que se comunicam com seus pares através da troca de mensagens em uma expressiva linguagem de comunicação de agentes.

Uma definição mais voltada para o uso de agentes como assistentes pessoais é proposta por Maes (1994). Ela define agentes como sendo componentes de software que atuam autonomamente de forma a atender os interesses do usuário no mesmo ambiente de trabalho.

Russell e Norvig (1995), apresentaram uma nova proposta de entender Inteligência Artificial. Em seu trabalho, eles estabelecem que inteligência está altamente ligada com ações racionais. Agir racionalmente significa agir de forma a alcançar as metas definidas por alguém, dadas as crenças deste alguém. Neste sentido, eles definem genericamente um agente como sendo algo com a capacidade de atuar sobre o ambiente através de sua percepção sobre este ambiente.

Franklin e Graesser (1996), procuraram não apenas definir um agente, mas estabeleceram uma taxonomia baseada na principal noção de autonomia. Consideram que um agente autônomo é um sistema que faz parte de um ambiente, onde ele percebe e atua para atender suas próprias metas, a fim de aplicar o que percebeu em um momento futuro.

Nissen (1995), define um agente como sendo alguém ou alguma coisa que atua como um procurador com o propósito específico de realizar ações que podem ser entendidas como benéficas à parte representada.

Knapik e Johnson (*apud* COSTA, 1999, p. 17), agentes podem também ser definidos operacionalmente em termos de domínios no qual fornecem seus serviços, incluindo busca por informação, filtragem de dados, ajuda sensível ao contexto, assistência em tempo real, além da execução de tarefas conforme as necessidades de um usuário e outros. Neste contexto, uma abordagem possível para definir agentes pode ser através de sua organização, seguindo algum tipo de classificação.

Shoham (*apud* COSTA, 1999, p. 17), define agente como sendo uma entidade de software funcionando continuamente e de forma autônoma em um ambiente particular, freqüentemente habitado por outros agentes e processos.

Como visto, existem diversas propostas para definir o que é um agente. Entretanto, pode-se observar claramente que todas possuem características em comum. Dentre estas características devem-se enfatizar propriedades como autonomia, capacidade de responder a determinadas situações, facilidades para comunicação e capacidade para aprender como alcançar seus objetivos. Por serem muito importantes no entendimento de agentes, estas propriedades serão exploradas na próxima seção.

4.3 Atributos dos Agentes

Agente pode ser definido a partir de suas características básicas, como foi discutido anteriormente. O conjunto destas características é ainda utilizado como uma forma para agrupar os agentes em classes ou tipologias. Um agente não precisa possuir todas estas características ou atributos, embora suas capacidades estejam diretamente associadas a presença delas. A escolha de quais atributos devem estar presente em um agente depende da funcionalidade que o projetista pretende dar ao seu agente.

Esta seção não procura apresentar todos os atributos existentes, mas apenas os mais relevantes. É importante ainda ressaltar que os atributos discutidos não estão em ordem de importância.

4.3.1 Autonomia

Segundo Nwana (*apud* COSTA, 1999, p. 17), autonomia refere-se ao princípio de que os agentes podem agir baseados em seus próprios princípios, sem a necessidade de serem guiados por humanos ou outros agentes. Os agentes possuem estados e metas internos, agindo de maneira a atingir estas metas em favor de seus usuários. O elemento chave da autonomia é a pró-atividade, que é a sua habilidade de tomar iniciativas, sem a necessidade de agir em virtude de uma mudança de seu ambiente (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995).

Nissen (1995), relaciona o controle somente ao usuário final quando estabelece que um agente inteligente deve possuir a habilidade de praticar ações para desenvolver tarefas ou alcançar objetivos, sem necessitar da interferência do usuário final.

De acordo com Foner (*apud* SOUZA, 1996, p. 42), os agentes detentores de um alto grau de autonomia podem manter suas agendas independentes daquelas de seus usuários. Para tanto, os agentes apresentam 3 aspectos básicos: ações periódicas, execuções espontânea e iniciativa. Estes requisitos habilitam o agente autônomo a efetivar ações preemptivas e independentes que poderão eventualmente beneficiar o usuário.

No contexto da Internet, Nissen (1995), afirma que autonomia é a habilidade de operar, mesmo quando o usuário final não está conectado na rede. Neste caso, esta propriedade normalmente está associada a outra mobilidade.

4.3.2 Mobilidade

A capacidade de poder se mover através de uma rede de computadores parece ser interessante para agentes que auxiliam seus usuários na busca de informações, principalmente dentro da Internet. Entretanto, este atributo pode causar sérios problemas de sobrecarga na rede, uma vez que eles trafegam entre as máquinas conectadas, como também pode conter problemas de código ou até mesmo estar transportando um vírus de computador.

4.3.3 Cooperação

Cooperação pode ser entendida como a capacidade que os agentes têm de trabalharem em conjunto de forma a concluírem tarefas de interesse comum. Esse atributo é a razão principal para a existência de um ambiente multi-agente. Para permitir esta cooperação, o agente deve ser dotado de uma certa habilidade social, capacitando-o a interagir com outros agentes e possivelmente humanos através de alguma linguagem de comunicação (Wooldridge e Jennings, 1995).

4.3.4 Comunicabilidade

Quando existe mais de um agente envolvido, há uma necessidade óbvia por um modelo de comunicação. Entretanto, o conceito de comunicabilidade não estabelece apenas a troca de informações entre agentes. Franklin e Graesser (1996), afirmam que agentes podem se comunicar com outras entidades além de agentes, incluindo-se humanos e o seu ambiente.

4.3.5 Aprendizagem

Um dos atributos que mais caracterizam agentes inteligentes é a capacidade de aprender. Uma real autonomia só pode estar presente quando um agente possui a habilidade de avaliar as variações de seu ambiente externo e escolher qual a ação mais correta. Entretanto, mesmo quando um agente não reconhece nenhuma ação a ser executada, é esperado que ele procure encontrar uma saída. A questão não é acertar sempre, mas aprender continuamente por experiência, seja através de sucessos ou de fracassos.

O aprendizado pode ser também um processo interativo. Nestes casos, o treinador pode fornecer ao agente o conhecimento através de uma seqüência de instruções ou informá-lo apenas quando o agente não possuir o conhecimento necessário (LEMON et al, *apud* COSTA, 1999, p. 18).

4.3.6 Reatividade

Reatividade é a habilidade que um agente tem de reagir a mudanças no seu ambiente. Para tal, o agente deve ser capaz de perceber seu ambiente e atuar sobre ele. Este atributo está presente em praticamente todas as definições de agente (Wooldridge e Jennings, 1995), (Russell e Norvig, 1995), (Franklin e Graesser, 1996).

4.3.7 Habilidade Social

Este atributo está diretamente associado com a característica de comunicabilidade, uma vez que representa a habilidade de interagir com outros agentes. Genesereth e Ketchpel (1994), indicam a necessidade de uma linguagem comum para a comunicação de agentes.

4.3.8 Pró-atividade

Este atributo pode ser também denominado iniciativa, uma vez que representa um comportamento independente. As ações são dirigidas pelo objetivo e não simplesmente por mudanças no seu ambiente. O agente que implementa este atributo possui maior flexibilidade, pois é capaz de resolver problemas causados por

situações inesperadas. Os agentes que contém esse atributo não agem simplesmente em resposta a seu ambiente, eles são capazes de exibir o comportamento dirigido por meta tomando a iniciativa (Wooldridge e Jennings, 1995).

4.3.9 Discurso

Segundo Foner (*apud* SOUZA, 1996, p. 46), a propriedade do discurso propicia um *feedback* em dois sentidos entre usuário e agente, possibilitando um maior conhecimento sobre suas habilidades e intenções.

Durante um discurso, o usuário especifica as ações que poderiam ser executadas em seu ambiente e o agente relaciona o que ele pode executar, bem como os prováveis resultados.

Segundo o autor esta propriedade se faz necessária uma vez que, ao usuário é imprescindível certificar-se de que o agente cumprirá sua agenda e tarefa da forma esperada, também ressalta que o discurso pode transcorrer de duas maneiras:

- *Simples Negociação* – onde usuário e agente interagem como troca de informações;
- *Alto Nível* – usuário e agente interagem repetidas vezes, porém relembram interações e acordos anteriores.

4.3.10 Inteligência

Em termos puramente funcional, inteligência pode ser considerada como um conjunto de recursos, atributos ou características que capacita o agente a decidir quais ações serão tomadas (Auer, 1995).

Belgrave (1995), ressalta a inteligência como a habilidade do agente de inferir e extrapolar de maneira racional e reprodutiva, através da propriedade de raciocínio, embasado em conhecimento e experiências anteriores.

4.3.11 Coerência

É a propriedade que o agente possui de resolver conflitos entre objetivos concorrentes ou conflitantes. O agente é dito coerente se mantém um comportamento íntegro, mesmo quando inserido em situações ambientais que

indiquem a possibilidade de diferentes respostas adequadas (LEMON et al., *apud* Souza, 1996, p. 48).

4.3.12 Abstração

É a habilidade do agente de detectar a relevância da informação ou ação para uma situação específica. A propriedade da abstração é freqüentemente utilizada no planejamento e na solução de problemas (LEMON et al., *apud* Souza, 1996, p. 48).

4.3.13 Planejamento

É a capacidade do agente de sintetizar e escolher entre diferentes cursos de ações, com o propósito de alcançar seus objetivos (Belgrave, 1995).

O termo “planejamento” (*planning*) é o processo pelo qual um agente deliberativo move-se do modelo para a ação. Especificamente é o processo através do qual o agente determina qual ação é apropriada à situação (Auer, 1995).

4.4 Tipologia de Agentes

A numerosa quantidade de atributos apresentados na seção anterior ajuda a perceber que seria muito difícil implementar um agente que incorporasse todos aqueles atributos. Até porque as características de um agente são dependentes do tipo de aplicação a que ele se propõe.

A análise dos atributos que estão presentes nos agentes tem sido utilizada pelos pesquisadores para organizar os agentes em tipologias. Uma tipologia é uma classificação por tipos de agentes que possuem atributos em comum. Alguns dos principais atributos utilizados na formação de uma tipologia foram discutidos na seção anterior.

Nwana (*apud* COSTA, 1999, p. 19), propõe uma tipologia de agentes que identifica diferentes dimensões de classificação. Ele acredita que agentes podem ser classificados de acordo com:

- Sua mobilidade: estático ou móvel. No caso de ser móvel, o agente pode ainda estar residente na máquina do cliente ou temporariamente no servidor.

- A presença ou não de um modelo de raciocínio simbólico, ou seja, um agente pode ser deliberativo ou reativo.
- A presença dos atributos primários autonomia, cooperação e aprendizado. Combinando estas três características, quatro tipos de agentes podem ser derivados: agentes colaborativos, agentes colaborativos com capacidade de aprendizado, agentes de interface e agentes verdadeiramente inteligentes (fig. 7). É importante notar que os limites desta classificação não devem ser interpretados como linhas bem definidas. Na verdade, o fato de agentes cooperativos terem mais ênfase em cooperação e autonomia que agentes com capacidade de aprendizado não exclui as possibilidades daqueles desenvolverem características de aprendizado.
- A função principal assumida pelo agente, como os agentes de informação.
- Suas características híbridas que combinam duas ou mais filosofias diferentes em um mesmo agente.

Após estabelecer sua topologia, o autor estabeleceu sete categorias de agentes: agentes colaborativos, agentes de interface, agentes móveis, agente de informação, agentes reativos, agentes híbridos e agentes inteligentes.

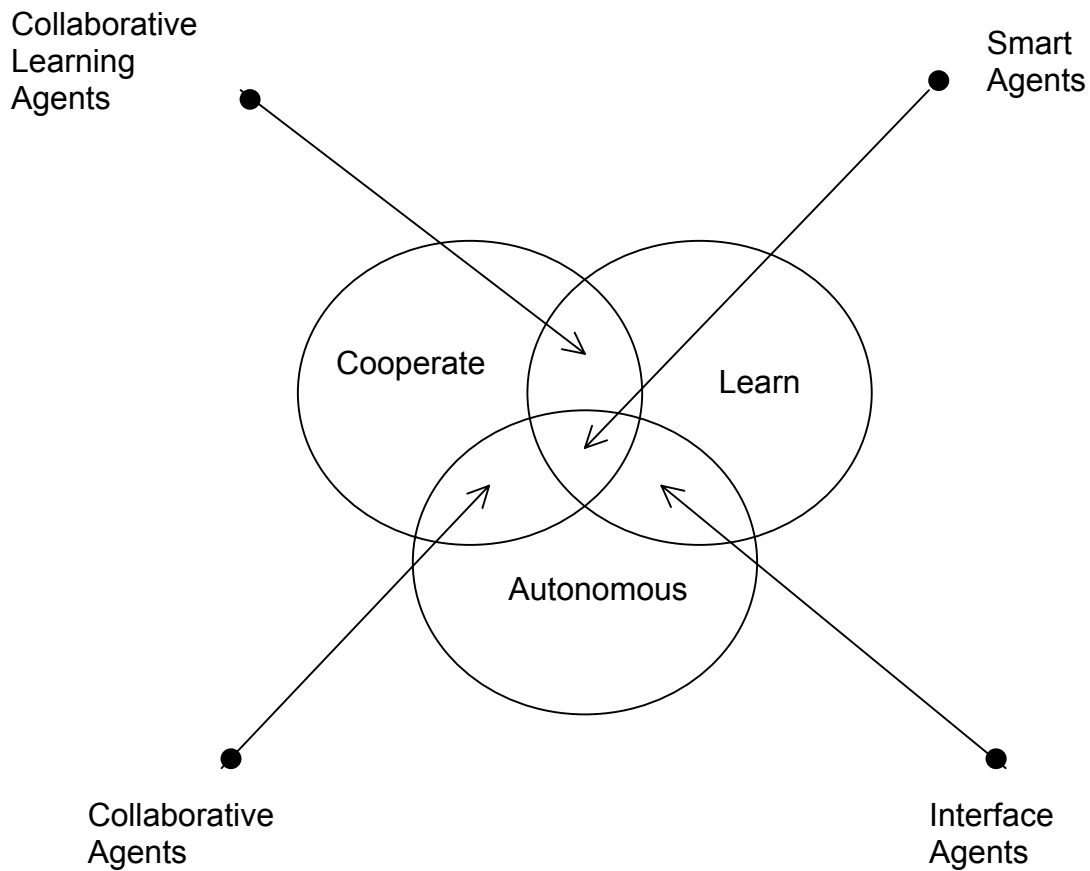


Figura 7: Tipologia de Agentes

Fonte: COSTA, Marcello Thiry Comicholi. Uma arquitetura baseada em agentes para suporte ao ensino à distancia. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Franklin e Graesser (1996) acreditam que um agente, por definição, deve ser um processo em contínua execução e possuir, pelo menos, os atributos de autonomia, reatividade e pró-atividade. Wooldridge e Jennings (1995) acrescentam ainda que um agente precisaria também possuir a habilidade social. Franklin e Graesser (1996), após estudar várias definições de agentes, apresentaram uma taxonomia que engloba grande parte dos trabalhos em andamento (fig. 8).

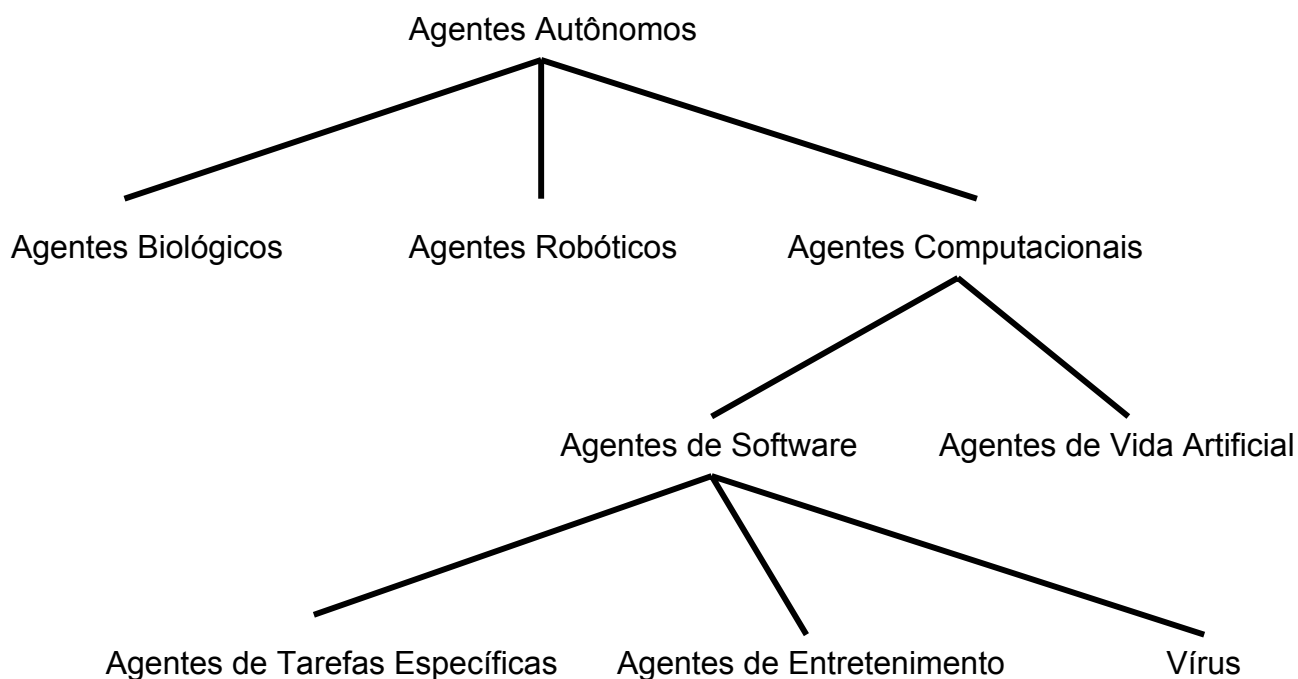


Figura 8: Taxonomia de Agentes

Fonte: FRANKLIN, S. ; GRAESSER, A. Is it agents, or just a program: A taxonomy for autonomus agents. Disponível em <http://www.msci.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html>. Acesso em: 29 out. 1997

Caglayan e Harrison (*apud* COSTA, 1999, p. 20), estabelecem uma taxonomia através dos conceitos de ambiente, tarefa e arquitetura. Por ambiente deve-se entender o universo onde o agente atua, como um sistema operacional em particular ou a Internet. O conceito de tarefa está relacionado com o quê um agente pode fazer. Arquitetura representada como o agente organiza internamente seu conhecimento. Utilizando estes conceitos, os autores dividiram os agentes em 3 categorias: *desktop*, Internet e Intranet. Agentes *Desktop* são basicamente agentes de interface que oferecem serviços de assistência aos seus usuários. Na categoria Internet, os agentes oferecem serviços de busca, filtragem e recuperação de informações. Os agentes móveis e de notificação também estão inclusos nesta categoria. Os agentes da categoria Intranet incluem aqueles que possuem capacidade para automatizar processos do fluxo de trabalho dentro das organizações. Outros agentes Intranet manipulam bancos de dados e alocam recursos em uma arquitetura cliente/servidor.

4.4.1 Agentes Colaborativos

Em sistemas colaborativos, cada agente contribui com sua própria técnica inteligente para a solução de um problema complexo. Agentes colaborativos enfatizam autonomia e cooperação com outros agentes de forma a executar tarefas para seus donos. Neste ambiente, torna-se clara a necessidade de negociação para estabelecer acordos e compromimentos mútuos. Apesar de aprendizado não ser a principal ênfase da operação de agentes colaborativos, eles podem demonstrar um aprendizado limitado. Para que um processo de colaboração possa acontecer, é clara a necessidade de se definir uma linguagem comum para a comunicação entre agentes (COSTA, 1999).

4.4.2 Agentes de Interface

Os agentes de interface podem ser conhecidos também como sendo agentes que podem aprender ou assistentes pessoais. Eles enfatizam a autonomia e o aprendizado para executarem tarefas para seus donos. Este tipo de agente atua normalmente em *background*, analisando as ações do usuário, encontrando padrões repetitivos e automatizando estes padrões com a aprovação do usuário (COSTA, 1999).

Maes (1994), também idealiza estes agentes através da metáfora de um assistente pessoal que colabora com o usuário em um mesmo ambiente de trabalho. Torna-se importante verificar que a colaboração citada não precisa utilizar uma linguagem explícita para a comunicação, uma vez que ela é feita diretamente com o usuário e não com outros agentes.

Essencialmente, agentes de interface suportam e providenciam assistência, tipicamente para o usuário aprender a usar uma aplicação em particular, como um sistema operacional, por exemplo. O agente observa o usuário e monitora suas atividades na interface, aprendendo maneiras novas de executar tarefas, e sugerindo maneiras melhores de executá-las. Segundo Maes (1994), os agentes de interface podem aprender a partir de quatro maneiras:

- Observando e imitando o usuário (aprendendo a partir do usuário).
- Recebendo do usuário retorno positivo e negativo (aprendendo a partir do

usuário).

- Recebendo instruções explícitas do usuário (aprendendo a partir do usuário).
- Solicitando orientação para outros agentes (aprendendo a partir de parceiros).

Atualmente, há um grande número de aplicações na Internet que dizem possuir a habilidade de aprendizado. Normalmente estes agentes estão relacionados com recomendação de serviços, tais como livros ou músicas.

4.4.3 Agentes Assistentes

No contexto deste trabalho, agentes assistentes são agentes pessoais inteligentes. Apesar de possuírem semelhanças com os agentes de interface, os assistentes adicionam facilidades de ajuda, diagnóstico e orientação, além de poderem executar tarefas autonomamente, sem a intervenção humana.

Assistentes devem ser capazes de identificar situações onde o usuário pode precisar de ajuda e, então, fornecer alguma informação adicional para auxiliá-lo. Outra facilidade é a habilidade de representar seu usuário de forma autônoma, utilizando uma base de crenças criada a partir dos interesses de seu usuário. Desta forma, humanos poderão participar de um processo cooperativo envolvendo outros humanos e agentes.

4.4.4 Agentes de Recuperação de Informação

Estes agentes são capazes de buscar informações de uma forma inteligente. É importante notar que estes agentes não devem ser confundidos com simples mecanismos de busca utilizados na Internet. O objetivo não é simplesmente encontrar informações que satisfaçam um conjunto de palavras-chave, mas espera-se que este tipo de agente possa reconhecer padrões de informação e encontrar aquelas mais relevantes. Além disso, este agente deve poder operar em modo autônomo, realizando filtragens e em alguns casos aplicando inferências. Neste caso, o agente consegue transformar pedaços de informação em conhecimento altamente produtivo para seu usuário. Estes agentes tem ampla aplicação em organizações que possuem grande volume de informação espalhada geograficamente ou em vários bancos de dados (COSTA, 1999).

4.5 Comunicação entre Agentes

Segundo Labrou et al (1999), uma abstração comum de um agente é como uma Base de Conhecimento Virtual, ou seja uma coleção de informação e conhecimento principalmente declarativa e um mecanismo de inferência associado que permitem ao agente proativamente fazer inferências, responder perguntas, e talvez praticar uma ação. Neste contexto, interoperabilidade é interpretado freqüentemente como um problema de habilitar os agentes como compartilhar as suas informações e conteúdo de conhecimento. Três problemas básicos precisam ser endereçados aos agentes para efetivamente compartilhar conhecimento:

- Como se pode traduzir de uma linguagem de representação de conhecimento para outra.
- Como se pode garantir que o significado de conceitos, objetos, relações seja o mesmo para diferentes agentes.
- Como esse conhecimento compartilhado potencialmente vai ser comunicado de fato entre os agentes.

Linguagem de Comunicação de Agente (ACL – *Agent Communication Language*) é uma ferramenta que segue o caminho desta abstração em camada da questão de interoperabilidade Um ACL pode ser pensado como uma coleção de tipos de mensagem cada uma com um significado reservado. Uma linguagem de comunicação não se preocupa com a mudança física, em cima de uma rede, de uma expressão em alguma linguagem, mas se preocupa bastante com declarar uma atitude sobre o conteúdo desta mudança. Por exemplo, uma linguagem de comunicação pode distinguir entre uma troca de mensagem particular que sugestiona uma questão/resposta, um interesse para um conteúdo particular, uma promessa ou compromisso para executar uma ação futura, ou uma afirmação. Do ponto de vista da engenharia de software, uma linguagem de comunicação de agente pode ser visto como outro protocolo de mensagem, mas com duas diferenças principais: (a) descreve a aplicação e as ações que pode executar, ou pode ser pedido para executar, a um nível mais alto de abstração, e (b) oferece uma variedade maior de tipos de mensagem. Um ACL introduz uma abstração poderosa porque separa (1) as expressões que são o conteúdo da mudança e (2) seu

significado, da atitude que é expressada sobre eles.

Os sistemas modernos de computação freqüentemente envolvem múltiplos computadores interagindo de forma distribuída (FININ et al, 1994). Neste sentido, a habilidade de comunicação é um importante atributo que os agentes inteligentes devem possuir. Ambientes que possuem mais de um agente, praticamente exigem o intercâmbio de informações. Neste sentido, torna-se claro a necessidade de uma linguagem de comunicação comum. Apesar desta afirmação ser clara e bem aceita pela comunidade de pesquisadores, o problema é definir qual a linguagem ideal. Atualmente, não existe uma linguagem padronizada e aceita mundialmente para a representação de informações trocadas por agentes. A presença de uma linguagem comum para troca de mensagens é uma das características que diferencia um agente de um objeto na programação orientada a objetos. Uma mensagem no contexto dos agentes carrega uma semântica independente do agente, enquanto que uma mensagem no contexto dos objetos pode variar de um objeto para outro.

Finin et al (1993) estabelecem que existem diversos níveis nos quais sistemas baseados em agentes devem interagir:

- **Transporte:** como agentes enviam e recebem mensagens.
- **Linguagem:** qual o sentido de mensagens individuais.
- **Política:** como os agentes estruturam conversações.
- **Arquitetura:** como conectar sistemas em concordância com protocolos existentes.

O projeto de uma linguagem de comunicação entre agentes utiliza normalmente uma das seguintes abordagens: procedural ou declarativa. Na abordagem procedural, a comunicação acontece através de diretivas. Tanto comandos individuais quanto programas completos podem ser transmitidos e executados no lado receptor. Linguagens baseadas em *scripts*, tais como TCL e *Telescript*, são exemplos da abordagem procedural.

Na abordagem declarativa, a comunicação ocorre através da troca de estruturas declarativas, tais como definições, asserções e outras. A abordagem declarativa pode ser encontrada no trabalho de Genesereth e Ketchpel (1994), que escolheram a Linguagem de Comunicação entre Agentes como a base de comunicação para sua plataforma de Engenharia de Software baseada em agentes.

A ACL foi resultado do grupo ARPA KSE (*Knowledge Sharing Effort*) (NECHES et al, *apud* COSTA, 1999, p. 23). Pode-se dividir a ACL em três partes:

- **Vocabulário:** funciona como um grande dicionário de palavras apropriadas às áreas de aplicação comum. Este vocabulário compartilhado é chamado de ontologia
- **Linguagem interna:** KIF (*Knowledge Interchange Format*) é uma versão do cálculo de predicados de primeira ordem. Possui a capacidade de codificar dados simples, restrições, regras, expressões e outras. Uma completa descrição da linguagem KIF e de como utilizá-la pode ser encontrada no trabalho de Genesereth et al (1992).
- **Linguagem externa:** KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*) é uma camada lingüística que pode encapsular estruturas KIF. Ela fornece informação contextual para uma comunicação mais eficiente. Uma das especificações iniciais de KQML pode ser encontrada em (FININ et al, 1993).

Uma mensagem ACL é uma expressão KQML na qual os argumentos são termos ou sentenças KIF formadas por palavras no vocabulário ACL. Entretanto, é importante ressaltar que a linguagem KQML não foi idealizada para transmitir apenas um conteúdo baseado em KIF. Na verdade, KQML pode ser bem mais abrangente, permitindo até a transmissão de um conteúdo definido pelos próprios projetistas do sistema multi-agente em questão. Obviamente, a não utilização de uma linguagem padronizada e com habilidade de representação de conhecimento, como KIF, reduz a possibilidade de interação entre agentes desenvolvidos por projetistas diferentes.

Por ser importante para o contexto deste trabalho, a linguagem KQML será apresentada em mais detalhes na próxima subseção.

KQML

A linguagem KQML fornece uma plataforma para programas e agentes trocarem informações e conhecimentos. KQML está focada nos formatos de mensagem e em protocolos de manipulação destas mensagens entre agentes em execução. Entretanto, KQML não se preocupa com o formato da informação

propriamente dita. Suas expressões usualmente encapsulam estruturas de outras linguagens denominadas “linguagens de conteúdo”. Como visto, o grupo KSE utiliza a linguagem KIF como responsável por carregar o conteúdo. KQML é uma linguagem que permite programas realizarem operações sobre as bases de conhecimento de cada agente envolvido.

É importante notar que, por se tratar de uma linguagem, alguns termos apresentados neste trabalho não serão traduzidos. Uma mensagem KQML é chamada *performative*. Cada mensagem tem o objetivo implícito de realizar alguma ação específica. Como pode ser observado na especificação da linguagem (FININ et al, 1993), existe um grande número de *performatives* definidas e a maior dos sistemas baseados em agente suportam somente um pequeno subconjunto delas. As *performatives*, ou tipos de mensagem, são palavras reservadas em KQML. Usando *performatives*, agentes podem perguntar a outros agentes por informações, dizer a outros agentes fatos, divulgar seus serviços a outros agentes e solicitar serviços de outros agentes.

KQML adota o uso de ontologias. Ontologias são um conjunto de especificações explícitas de significado, conceitos e relacionamentos aplicáveis a algum domínio específico. Desta forma, pode-se assegurar que dois agentes estejam utilizando a mesma linguagem durante o processo de comunicação. Em outras palavras, a utilização de uma ontologia permite a definição de um contexto único, eliminando-se a ambigüidade.

Mensagens KQML codificam informação em três diferentes níveis arquiteturais: conteúdo, mensagem e comunicação. Sua sintaxe está baseada na linguagem Lisp e é composta de uma ação (*performative*) e parâmetros. A ordem de posicionamento dos parâmetros não é importante. Os parâmetros são codificados como pares <palavra-chave, valor>, onde a palavra-chave é precedida pelo símbolo “:”.

Um exemplo de uma mensagem KQML é apresentado na figura 9. No exemplo, um agente *user1* solicita o conceito de um objeto (em um provável curso de programação orientada a objetos) para outro agente *user2*.

```
(ask-one
  : sender user 1
  : content concept ( object, X)
  : receiver user 2
  : reply-with object-concept
  : language Prolog
  : ontology TEACH.COURSE)
```

Figura 9: Exemplo de uma mensagem KQML.

Fonte: COSTA, Marcello Thiry Comicholi. Uma arquitetura baseada em agentes para suporte ao ensino à distancia. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

A *performative* KQML utilizada é *ask-one*. O parâmetro *:content* define o nível de conteúdo da mensagem como uma estrutura da linguagem Prolog que espera retornar em X, o conceito de um objeto. Os parâmetros *:sender* e *:receiver* especificam a informação ao nível de comunicação. O nome da *performative*, a especificação da linguagem (*: language*) e o nome da ontologia usada (*:ontology*) fazem parte do nível de mensagem. É importante notar que a mesma mensagem poderia ser enviada com um conteúdo e linguagem diferentes, ou ainda, exatamente a mesma mensagem com uma ontologia diferente. Neste caso, o significado da mensagem seria outro, completamente diferente do mostrado no exemplo.

Uma característica interessante da linguagem KQML, é que ela pode oferecer uma forma de acesso à informação, mesmo para programas que não sejam agentes. Segundo Finin et al (1993), a implementação de um agente não é necessariamente estruturada como sendo uma base de conhecimento. Sua implementação pode ser um simples sistema de banco de dados ou um programa utilizando uma estrutura de dados especial encapsulada por uma interface de acesso semelhante a uma base de conhecimento. Isto permitiria que outros agentes tivessem acesso às informações disponíveis. Desta forma, cada agente poderia gerenciar uma base de conhecimento virtual (VKB – *Virtual Knowledge Base*).

4.6 Arquiteturas de Agentes

Uma arquitetura de software pode ser descrita como sendo a configuração dos componentes que constituem um sistema e das conexões que coordenam as atividades entre estes componentes (ABOWD et al, *apud* COSTA, 1999, p. 25). Entretanto, uma arquitetura para agentes refere-se ao modo de organização dos agentes dentro de um sistema e como estão estruturados seus relacionamentos e interações.

Assim como existem diversas arquiteturas de software, o mesmo ocorre com relação as arquiteturas de agentes, as quais possuem certas características que permitem a avaliação de sua qualidade e eficácia.

Segundo Wooldridge e Jennings (1995), uma arquitetura de um agente pode ser estruturada através de uma metodologia específica para definir agentes. Sendo assim, a arquitetura abrangeria técnicas e algoritmos para suportar esta metodologia.

Mowbray (*apud* COSTA, 1999, p. 25) procura estabelecer alguns conceitos que podem ser úteis para o desenvolvimento de uma arquitetura promissora:

- **Simplicidade:** idealizar a arquitetura e seus componentes de forma que sejam fáceis de entender, implementar e manter.
- **Funcionalidade:** selecionar uma arquitetura e ferramentas de desenvolvimento que focalizem aspectos específicos do problema a ser abordado.
- **Expansividade:** a arquitetura deve poder ser ampliada, uma vez que nem todas as necessidades futuras podem ser previstas em um primeiro momento.
- **Isolamento ou Portabilidade:** uma arquitetura, para poder ser expansiva, deve possuir uma implementação portátil, evitando-se soluções não padronizadas.

4.6.1 Classificação de Arquiteturas

Em computação, o termo arquitetura pode compreender uma faixa razoável de possibilidades, principalmente no aspecto complexidade. Arquiteturas de agentes não são uma exceção e podem ser classificadas de acordo com as necessidades da aplicação, dos usuários, e o grau de sofisticação ou nível de inteligência dos

agentes. De acordo com Knapik e Johnson (*apud* COSTA, 1999, p. 26)), a complexidade de uma arquitetura pode ser classificada em três grupos:

- **Arquitetura simples:** quando é composta por um único e simples agente.
- **Arquitetura moderna:** quando é composta por alguns agentes que realizam as mesmas tarefas, mas possuem diferentes usuários e podem residir em máquinas diferentes.
- **Arquitetura complexa:** quando é composta por diferentes tipos de agentes, cada um com certa autonomia, podendo cooperar e estar em diferentes plataformas.

Wooldridge e Jennings (1995) se baseiam na forma de construção dos agentes envolvidos para dividir as arquiteturas em três áreas:

- **Arquiteturas deliberativas:** segue a abordagem clássica da Inteligência Artificial, onde os agentes atuam com pouca autonomia e possuem modelos simbólicos de seus ambientes. Em outras palavras, esta arquitetura interpreta os agentes como parte de um sistema baseado em conhecimento.
- **Arquitetura reativa:** esta abordagem procura não utilizar nenhum tipo de modelo ou raciocínio simbólico. Este tipo de arquitetura baseia-se na proposta que um agente pode desenvolver inteligência a partir de interações com seu ambiente, não necessitando de um modelo pré-estabelecido.
- **Arquitetura híbrida:** como o próprio nome sugere, este tipo de arquitetura combina características das duas abordagens anteriores.

4.6.2 Arquitetura InteRRaP

A idéia principal dessa arquitetura é definir um agente por um conjunto de camadas funcionais unida por uma estrutura de controle dirigida por competência e uma base de conhecimento hierarquicamente compartilhada. A Figura 4 avalia o modelo do agente InteRRaP.

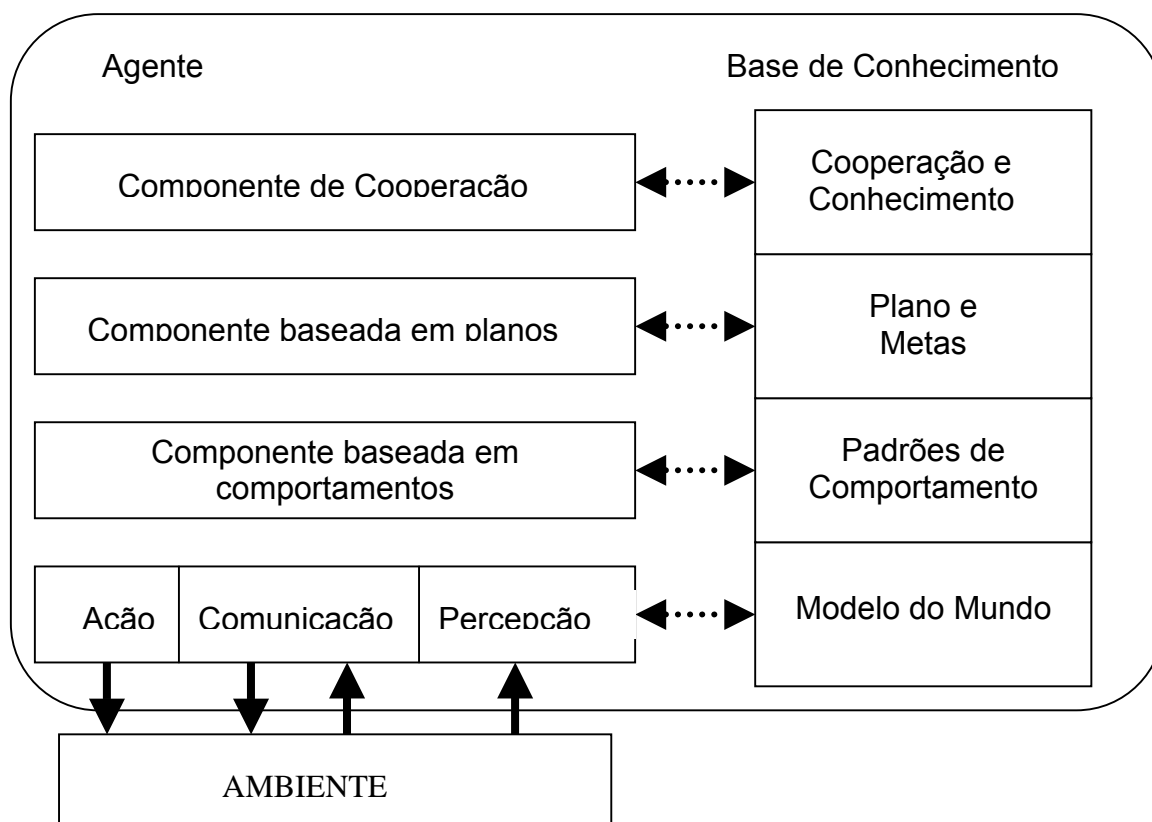


Figura 10: Modelo do Agente InteRRaP

Fonte: MÜLLER, J. P.; PISCHEL, M. Modeling interacting agents in dynamic environments. In Proceedings of the Eleventh European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-94).

Ela consiste de cinco partes básicas:

- Interface do Mundo que é composta pelos módulos ação, comunicação e percepção.
- Componente Baseada em Comportamento que implementa e controla o comportamento reativo básico do agente bem como seu conhecimento processual.
- Componente Baseada em Planos que consiste de um mecanismo de planejamento que é capaz de projetar planos de um único agente.
- Componente de Cooperação que projeta um plano conjunto para uma certa situação, dando uma descrição do contexto mental e social.
- Base de Conhecimento que é estruturada hierarquicamente e consiste de

quatro camadas que basicamente corresponde à estrutura de controle do agente.

4.6.3 Arquitetura proposta por Genesereth

O trabalho de Genesereth e Ketchpel (1994) está focado na interoperabilidade de software. A proposta foi facilitar a criação de sistemas com habilidade de interação através de uma engenharia de software baseada em agentes. Nesta abordagem, os programas de aplicação são escritos como sendo agentes de software. Estes agentes podem ser interpretados como componentes que comunicam-se com seus pares por meio da troca de mensagens através de uma linguagem de comunicação de agentes. Apesar da semelhança com objetos, os agentes utilizam uma linguagem comum com uma semântica independente de agente enquanto que mensagens entre objetos podem variar de objeto para objeto. Esta arquitetura adota a abordagem ACL, para a comunicação entre os agentes.

Uma questão também tratada por Genesereth e Ketchpel foi à recuperação com os programas já existentes. Sendo assim, eles propõem três abordagens para o que denominaram **agentificação**:

- Implementar um programa tradutor que atua como um mediador entre o programa e outros agentes.
- Implementar uma camada adicional para o programa existente, provendo este como a capacidade de se comunicar via ACL.
- Reescrever o programa original. Esta proposta deve ser utilizada apenas em último recurso.

Uma vez que a arquitetura tem definida sua plataforma de comunicação, torna-se importante entender como os agentes estão organizados. Existem duas abordagens diferentes: comunicação direta e coordenação assistida. Na comunicação direta, a coordenação é gerenciada pelo próprio agente. Na coordenação assistida, o agente delega a atividade de coordenação à programas especiais.

A principal vantagem da comunicação direta está na não dependência de outros programas. Duas arquiteturas conhecidas que implementam a comunicação

direta são as redes de contrato (*contract net*) e compartilhamento de especificação (*specification sharing*). Nas redes de contrato, um agente solicita que os outros agentes submetam suas propostas, as quais declaram-se para a realização de certa atividade. O agente recebe e analisa as declarações recebidas e estabelece um contrato com agente mais promissor. O compartilhamento de especificação usa a abordagem inversa, onde os agentes divulgam seus interesses e capacidades para os demais agentes. Neste caso, o número de mensagens trocadas é menor que as redes de contrato, pois não há necessidade de haver sempre uma negociação.

O maior problema destas abordagens é a quantidade de tráfego gerado, uma vez que são soluções baseadas na difusão de mensagens. A complexidade do processo de negociação também é repassada aos agentes. Sendo assim, é proposta uma solução baseada em comunicação indireta denominada sistema federado.

No sistema federado, a interação dos agentes é assistida por um programa especial denominado facilitador, o qual oferece um conjunto de serviços de coordenação. A figura 11 apresenta uma arquitetura baseada em um sistema federado.

Nesta proposta, os agentes utilizam uma estrutura semelhante ao compartilhamento de especificação, mas apenas com seu facilitador. O facilitador atua então como um mediador, roteando mensagens (solicitações e respostas) de acordo com seu conhecimento interno.

A principal característica dos facilitadores que diferenciam de simples roteadores de mensagens (*brokers*) está associada à sofisticação de processamento. Um facilitador pode utilizar a documentação das necessidades e capacidades de um agente expressada através da ACL para melhorar o processo do roteamento de mensagens.

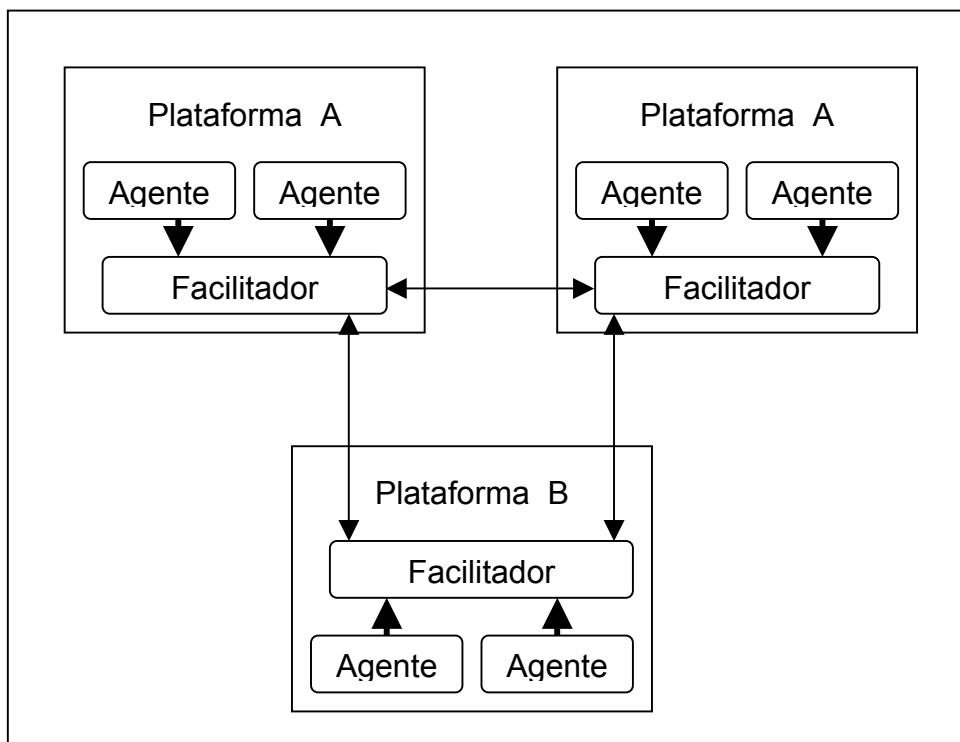


Figura 11: Federação de Agentes

Fonte: GENESERETH, M. R.; KETCHPEL, S. P. Software agents. Communications of the ACM.

4.7 Conclusão

Em uma análise inicial deve ressaltar que a tecnologia de agente inteligente é um paradigma novo e está sendo bastante utilizado em diversas áreas do conhecimento. Por esse motivo, ainda não exista uma definição universalmente aceita que satisfaça a todo os objetivos dos pesquisadores que utilizam esse paradigma.

Pelas várias definições apresentadas nesse capítulo, essa tecnologia é apresentada utilizando nomes como agente, agentes inteligentes, agentes autônomos e software de agentes.

Cada pesquisador em função dos objetivos de sua pesquisa, caracteriza seu agente como sendo inteligente, através de várias propriedades que encontramos na literatura. Como foi visto no decorrer desse capítulo, a aplicação da tecnologia de agente inteligente é bastante ampla e tendo obtido resultados muito interessantes e surpreendentes.

Pelas as aplicações encontradas na literatura, essa tecnologia está

avançando muito rapidamente no comércio eletrônico, na indústria, na internet, no gerenciamento de rede de computador e de comunicação.

5 O MODELO MULTI-AGENTE NO GERENCIAMENTO DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA

Os serviços de emergências, como foi visto anteriormente, são tratados levando em consideração somente a alocação espacial e temporal. Além de distribuir as unidades de emergência espacialmente e estudar a melhor forma de operá-las, outra questão importante é o de otimizar o escalonamento no tempo. Critérios de alocação temporal prevêm com antecedência, em função do desenvolvimento da demanda, quando o sistema estará próximo à saturação, permitindo que se providencie a instalação prévia de novas unidades para suprir a demanda excedente.

Vários modelos foram propostos na solução dos problemas de alocação espacial e temporal, como foi visto no capítulo 3, não sendo abordado um problema complexo e muito essencial em serviços de emergência que é o controle do atendimento, que pode ser abordado levando em consideração os pedidos de socorro, despacho da unidade de emergência e a prestação do serviço.

Os modelos *minimax* e *minisun*, concebidos de maneira a minimizar distâncias ou custos, apresentam algumas desvantagens quando aplicados, em sua essência, em sistemas de emergência. Somente em problemas com demanda uniforme em todos os pontos da região de estudo é que se admite o uso somente da distância como elemento definidor da distribuição das facilidades, assim como é questionável a utilização de custos monetários para avaliação de situações onde estão envolvidas perdas de vidas, ferimentos e bens de pessoas além de muitos custos indiretos. Mas esse modelo apresenta como vantagem a possibilidade de minimizar a soma dos custos associados com p facilidades, o que é muito conveniente em Países com poucos recursos financeiros, como o Brasil, onde normalmente não se tem um número ilimitado de equipamentos para colocar à disposição de todos os usuários em potencial na área de atendimento, a fim de se garantir uma medida mínima de desempenho do sistema, tendo apenas algumas unidades que devem ser distribuídas da melhor maneira possível.

È muito difícil se obter uma relação entre o tempo resposta de um sistema de emergência e os prejuízos ocorridos em função deste tempo. Além das dificuldades técnicas em atribuir uma relação entre prejuízo e tempo resposta, existem problemas

devido a incerteza sobre como os tomadores de decisão avaliam os níveis de realização das várias medidas de performance.

Nesse capítulo será desenvolvido o modelo multi-agente que será aplicado no gerenciamento do sistema de emergência proposto nesta tese, cujo objetivo é desenvolver um modelo que possibilite a integração dos problemas do atendimento da demanda e da localização espacial e temporal das unidades de emergência, onde a demanda está distribuída espacialmente em toda área de atuação do sistema.

5.1 Definição do Modelo

Como visto, o paradigma agentes inteligentes é uma tecnologia que oferece uma grande contribuição quando se trata de ambientes colaborativos e participativos. Essa abordagem pode ser usada para estruturar, integrar, classificar e difundir informações no sistema. A característica mais importante de um agente nesse sistema é a capacidade de se comunicar corretamente. Os agentes cooperam uns com os outros, dividindo e compartilhando conhecimentos sobre o problema e sobre o processo de obter uma solução.

A análise dos trabalhos discutidos anteriormente, abrangendo controle do atendimento das demandas, e localização espacial e temporal das facilidades, apresentam diversas características interessantes para um sistema colaborativo e participativo. Entretanto, os sistemas não apresentam soluções integradas que permitam uma evolução do processo como um todo.

Dentro desse contexto, este trabalho estabelece um modelo de administração do sistema de emergência. É definida uma plataforma orientada a agentes para suportar a comunicação, cooperação e integração entre os agentes, como também entre os clientes e os agentes. Em vez da interação humano – humano via perguntas e respostas, o cliente está engajado em um processo cooperativo em que humano e agente de computador inicia a comunicação, monitora eventos e desempenha tarefas. A metáfora usada é de um atendente pessoal que está colaborando com o cliente no mesmo ambiente de trabalho. O atendente torna-se gradualmente mais eficiente através da interação das respostas do cliente e do seu conhecimento. Note que o agente não é necessariamente uma interface entre o computador e o cliente, pois ele tem que transferir o pedido de socorro para outra

instância do sistema.

A plataforma defini uma sociedade multi-agente que pode ser considerada direta em termos de comunicação, heterogênea quanto às arquiteturas dos agentes, fechada quanto a mobilidade dos agentes e baseada em leis quanto as regras de comportamento. A comunicação dos agentes utiliza uma estrutura formalizada baseada na Linguagem de Comunicação de Agentes (ACL – *agent Communication Language*). Como apresentado no capítulo 4, um sistema multi-agente é composto de agentes que compartilham um ambiente comum. Conseqüentemente, eles devem atuar coletivamente para identificar e resolver conflitos, sendo, ao mesmo tempo, beneficiados pela ação de outros agentes.

São definidas cinco classes de agentes para a estruturação da plataforma: agentes de interface, agente consultivo, agente administrativo, agente estatístico e agente zona. Os agentes utilizam técnicas diferentes para resolver problemas específicos e interpretar situações. As principais abordagens de raciocínio utilizadas são raciocínio baseado em conhecimento e regras de produção (ou de conversação).

5.2 Plataforma Multi-Agentes

O modelo genérico da plataforma possui cinco tipos de agentes assim definidos: Agente de interface, agente consultivo, agente administrativo, agente estatístico e agente zona (Fig. 12). O agente de interface é responsável pela interação com o cliente. O agente consultivo oferece assistência pessoal ao cliente. O agente administrativo coordena todo o processo de atendimento de um modo geral. O agente estatístico gera todas as medidas de desempenho e relatórios do sistema. O agente zona é responsável pela localização espacial e temporal das unidades de emergência.

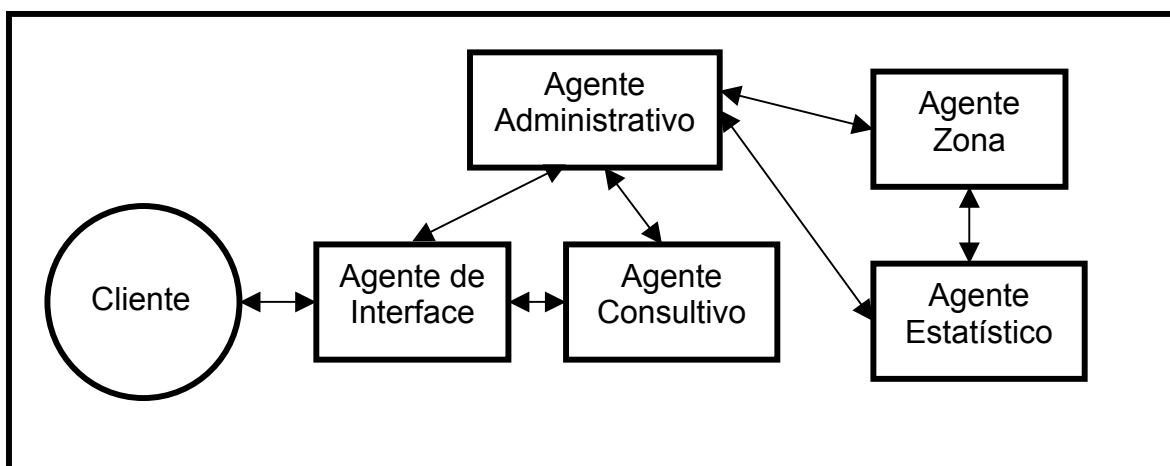


Figura 12: Estrutura genérica para o ambiente de emergência

A complexidade da plataforma proposta e dos diferentes tipos de serviços que os agentes podem oferecer, indicam a necessidade da aplicação de técnicas de inteligência artificial e de pesquisa operacional.

5.2.1 Agente de Interface

O agente de interface se comunica com os clientes via telefone por meio de uma linguagem falada, analisa e aceita os pedidos dos clientes, traduz esses pedidos em uma linguagem de comunicação de agentes e passa essas mensagens para os agentes consultivo e administrativo. Ele aceita as respostas do agente consultivo, traduz essas mensagens em linguagem falada e repassa aos seus clientes.

Essa fase de comunicação do agente de interface com os clientes e com os outros agentes é em potencial a mais importante do sistema, pois aqui o agente classifica os pedidos como de emergência ou não, em função do conjunto de protocolos e parâmetros modelado no módulo atendimento da base de conhecimento.

A figura 13 apresenta a estrutura básica de um agente de interface. É possível verificar quatro níveis bem estruturados: interface, interpretação, operação e comunicação.

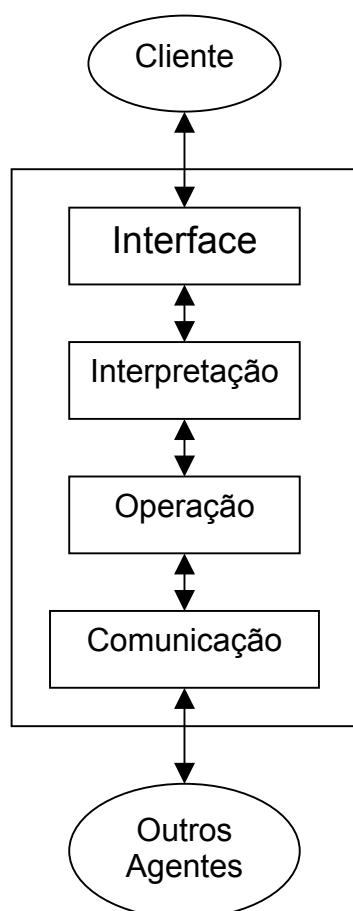


Figura 13: Estrutura básica do agente de interface

O **Nível de Interface** oferece a funcionalidade de comunicação com o cliente. Ele é responsável por captar os pedidos dos clientes e por apresentar as mensagens vindas do sistema. O **Nível de Interpretação** tem a função básica de tradução. Ele procura preparar e ordenar os pedidos feitos pelos clientes em uma estrutura de dados interna que é manipulada pelo agente. O **Nível Operacional** representa a parte principal do agente, pois é nele que reside a funcionalidade de raciocínio. Este nível é responsável pela monitoração das atividades do cliente e pela manutenção do conhecimento. O **Nível de Comunicação** é a parte do agente que lida com a troca de mensagens com outros agentes.

5.2.2 Agente Consultivo

O agente consultivo adota o paradigma de um assistente pessoal inteligente. Neste sentido, ele assiste o cliente através de uma monitoração constante de eventos e procedimentos, indicando a aplicação apropriada da emergência. Isto é feito através da verificação da situação do cliente e pela identificação dos casos

mais apropriados para aquele momento. Eles desempenham tarefas em favor dos clientes, como também podem treinar ou ensinar os clientes como agir em certas situações até o socorro chegar.

Este agente pode ser consultado indiretamente pelo cliente, através do agente de interface. Neste caso, o cliente faz a solicitação ao agente de interface que faz o repasse ao agente consultivo. Por sua vez, o agente consultivo verifica a situação individual de cada cliente, codifica o sintoma e repassa essa informação ao agente administrativo para enviar o socorro.

Outra importante característica do agente consultivo é a avaliação das ações e construções das crenças do cliente. O agente procura encontrar similaridades entre os casos derivados de um cliente e os casos inicialmente contidos na base de conhecimento. Os resultados destas buscas serão disponibilizados ao cliente, enquanto a unidade de emergência se desloca até o local para prestar o serviço.

Os agentes consultivos podem consistir de uma coleção de regras para processar as informações relacionados a uma tarefa particular.

O conjunto de tarefas que os agentes consultivo podem realizar para assistir os clientes é virtualmente ilimitada: filtrando informação, recuperando e transferir estas informações para outras instâncias do sistema.

As informações geradas por essas consultas e buscas que formam os planos de atendimento são armazenados na base de conhecimento, então os dados gerados como distrito, setor, local, data, horário, tipo de emergência e outros são armazenados no banco de dados.

A figura 14 apresenta a estrutura básica de um agente consultivo, que é composta de dois níveis: nível operacional e o nível de comunicação.

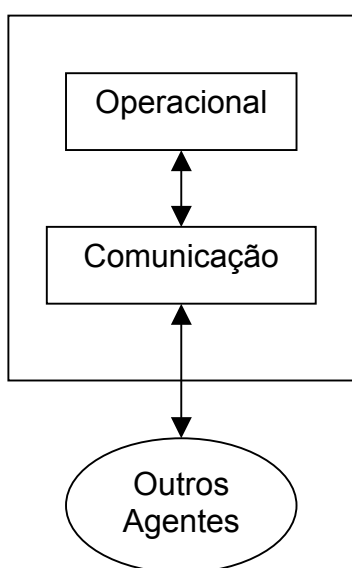


Figura 14: Estrutura básica do agente consultivo

O **Nível Operacional** representa a parte principal do agente, pois é nele que reside a funcionalidade do primeiro socorro. Este nível é responsável pela monitoração das condições de saúde dos clientes através de eventos e procedimentos. O **Nível de Comunicação** é a parte do agente que lida com a troca de mensagens com outros agente.

5.2.3 Agente Administrativo

No sistema de emergência, o agente administrativo tem a função do administrador com as seguintes atribuições:

- Conhecer os objetivos, atribuições e metas dos outros agentes que integram o sistema.
- Conhecer a localização espacial e temporal das unidades de emergência.
- Conhecer a política de despacho das unidades de emergência.
- Solicitar relatório com as medidas de desempenho do sistema.
- Interagir e cooperar com os outros agentes trocando informações sobre capacidades e comprometimentos das unidades de emergência.
- Tem livre acesso ao banco de dados e base de conhecimento.

Este agente armazena a representação do conhecimento do domínio utilizada

pelos agentes de interface e consultivo como base para a construção de suas próprias interpretações do domínio. Os níveis de interpretação e interface não estão presentes, uma vez que o cliente não possui acesso direto a este agente. A figura 15 apresenta a estrutura básica do agente administrativo.

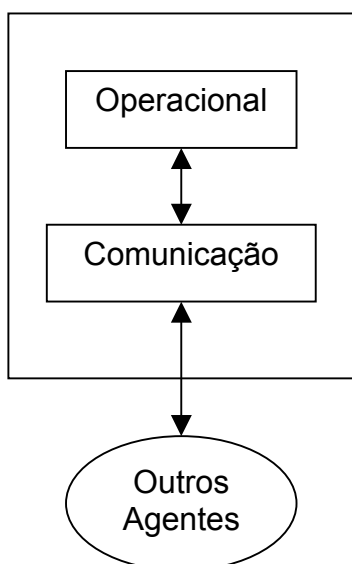


Figura 15: Estrutura básica do agente administrativo

O **Nível Operacional** representa a parte principal do agente, pois é nele que reside a funcionalidade do gerenciamento. Este nível é responsável pela monitoração do controle de todas as ações referentes ao sistema inclusive as atividades dos outros agentes, o acesso ao banco de dados e base de conhecimento, seleção, recuperação e atualização de informação. O **Nível de Comunicação** é a parte do agente que lida com a troca de mensagens com outros agente.

5.2.4 Agente Zona

Este agente tem a finalidade de dividir a cidade em setores de atuação para as unidades de emergência em função de sua localização espacial. Outra atribuição que faz parte de seus objetivos e metas é propor novos setores de atuação dependendo da carga de trabalho de cada unidade em função de sua localização temporal. A figura 16 apresenta a estrutura básica do agente zona.

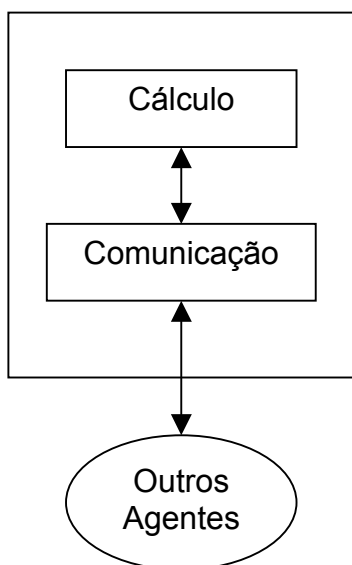


Figura 16: Estrutura básica do agente zona

O **Nível Cálculo** representa a parte principal do agente, pois é nele que reside a funcionalidade dos algoritmos em função dos objetivos e metas do mesmo. Este nível é responsável pela monitoração da localização espacial e temporal através dos algoritmos modelado na base de conhecimento. O **Nível de Comunicação** é a parte do agente que lida com a troca de mensagens com outros agentes.

5.2.5 Agente Estatístico

Este agente tem a finalidade de calcular todas as medidas de desempenho do sistema em função das rotinas de cálculos e gerar relatórios em parceria com os outros agentes. A estrutura básica do agente estatístico não difere do agente zona. A diferença está no nível cálculo dos agentes.

O **Nível Cálculo** representa a parte principal do agente, pois é nele que reside a funcionalidade das rotinas em função dos objetivos e metas do mesmo. Este nível é responsável pela monitoração dos cálculos das medidas de desempenho e construção de tabelas e gráficos para ajudar na interpretação dos relatórios através das rotinas modeladas na base de conhecimento.

5.2.6 Arquitetura do Sistema

Em sistemas multi-agente, o interesse está principalmente no comportamento e nas interações de um grupo de agentes. Contudo para criar uma sociedade de agentes, tem que especificar seus elementos básicos que são os próprios agentes.

A plataforma multi-agente está estruturada com base na arquitetura InteRRaP, onde o agente é modelado por um conjunto de camadas funcionais, unido por uma estrutura de controle de competência dirigida e uma base de conhecimento hierárquica compartilhada. A figura 17 apresenta a arquitetura que é composta de três camadas interligadas a uma base de conhecimento.

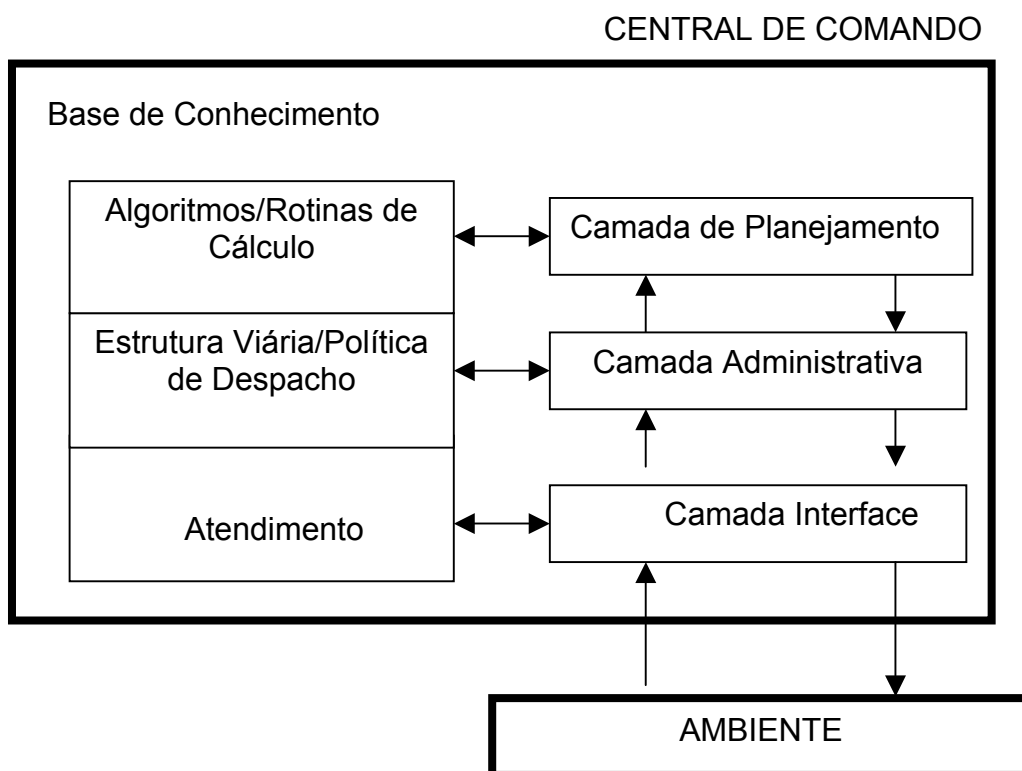


Figura 17: Arquitetura em camada do sistema multi-agente

5.2.6.1 Camada Interface

A camada interface oferece a funcionalidade de comunicação com o cliente. Ela é responsável por receber e controlar todos pedidos dos clientes, como também apresentar as mensagens vindas do sistema aos clientes. É composta pelas componentes demanda, comunicação e serviço. Na componente da demanda é implementado os módulos interpretação e operação. O primeiro tem a função básica

de tradução. Ele procura preparar e ordenar os pedidos feitos pelos clientes em uma estrutura de dados modelada na base de conhecimento representada pelo módulo atendimento. O segundo é responsável pela monitoração das atividades do cliente e pela manutenção do conhecimento, que também é modelado na base de conhecimento representada pelo módulo atendimento. A demanda é modelada levando em consideração o seguinte: endereço, tipo de emergência e sintomas. A componente serviço recebe da camada administrativa a ordem de prestar a emergência através da componente comunicação. As prestações do serviço de socorro são apresentadas e descritas por uma dupla (ambulância, quilometragem). A componente comunicação implementa toda a comunicação entre os agentes e controla o envio e o recebimento de mensagens da camada administrativa. Nessa componente está implementado um módulo tradutor para transformar as mensagens da linguagem do ambiente para a linguagem interna dos agentes ou vice-versa, pois a sociedade de agente é heterogênea. Quando existir uma comunicação com os clientes, o agente acessa o módulo atendimento da base de conhecimento utilizando protocolos e parâmetros para responder aos mesmos. A linguagem de comunicação externa utilizada pelo agente é KQML, enquanto a linguagem interna dos agentes é KIF.

5.2.6.2 Camada Administrativa

Essa camada coordena e controla as demandas e prestação de emergências. É responsável pela monitoração do controle das ações referentes ao sistema, inclusive as atividades dos agentes. Ela consiste das componentes operacional e comunicação. A primeira tem a função básica de gerenciamento. Nela seria modelado o conhecimento do ambiente, a política de despacho das unidades de emergência, os objetivos e metas dos agentes. A segunda serve como interface com as camadas vizinhas e como interprete para a execução do serviço de emergência. Ela está em contato direto com o módulo Estrutura Viária e Política de Despacho na base de conhecimento. Isso permite ao agente administrativo prestar o serviço com máxima rapidez e desempenhar os seus objetivos e metas, através de sua agenda de trabalho, tais como: controlar os deslocamentos da unidade de emergência, resolver conflitos no caso da unidade do setor quando estiver ocupado através da política de despacho, assessorar os outros agentes na solução de problemas, fazer

cumprir as metas e objetivos dos agentes.

5.2.6.3 Camada de Planejamento

Nessa camada é implementada e controlada todo comportamento reativo do agente. Ela é composta das componentes estatística e zona, onde é feito todo o planejamento local desses agentes como também o planejamento global do sistema. Em cada uma dessas componentes são modelados os módulos operacional e comunicação. O módulo comunicação das componentes acima serve de interface para a camada vizinha e como interprete para a execução do serviço. O módulo operacional da componente estatística tem a função de calcular as estatísticas, medidas de desempenho do sistema como um todo e por setor de abrangência, e emitir relatórios em conjunto com o agente administrativo. O módulo operacional da componente zona tem a função específica da localização espacial e temporal. Essa camada está em contato direto com o módulo Algoritmo e Rotinas de Cálculo da base de conhecimento.

5.2.6.4 Base de Conhecimento

O processo de representar conhecimento de um domínio passa por várias fases. O primeiro, fase informal, envolve decidir que tipos de objetos e relações precisam de ser representados (ontologia¹). Então um vocabulário é selecionado, e usado para codificar conhecimento geral do domínio. Depois de codificar instâncias de problemas específicos, procedimentos de inferência automatizado podem ser usada para resolve-lo. Boas representações eliminam detalhes irrelevante, captura distinções relevante e expressa o conhecimento no nível mais geral possível.

Mais formalmente, uma ontologia é uma conceitualização particular de um de um conjunto de objetos, conceitos e outras entidades sobre as quais conhecimento é expressado e as relações que ocorrem entre eles. Uma ontologia consiste de condições, as suas definições, e dos axiomas que os relacionam (LABROU et al, 1999).

Finalmente, deve-se recorda que a natureza de uma representação

¹ Para mais detalhes reportar ao trabalho de Russell and Norvig, 1995.

apropriada depende do mundo que estar sendo representado e do alcance intencional de usos da representação.

Muitos trabalhadores em informática médica estão buscando reutilizar conhecimentos em aplicações novas e compartilhar conhecimentos codificados por ambientes de software. Reutilizar conhecimento envolve muitas dimensões, inclusive a reaplicação de dicionários, ontologias, sintaxe de inferência, tarefas e métodos de resolver problemas. Os principais obstáculos para os trabalhos atuais em compartilhar conhecimento envolvem as dificuldades de alcançar consenso pelo qual considera o que significam representações de conhecimento, de enumerar as características de contexto e conhecimento de fundo exigidos para designar significado a uma representação de conhecimento particular, e de descrever conhecimento independente de intérpretes específicos ou máquinas de inferência. Progresso na área de compartilhar conhecimento necessitará de experiência prática como tentativa de trocar conhecimentos, como também ferramentas melhores por ver e editar representações de conhecimento a níveis apropriados de abstração (MUSEN, 1992).

A nossa base de conhecimento é composta por três módulos hierarquicamente organizado que consiste basicamente em organizar a estrutura de conhecimento e de controle dos agentes. Essa estrutura é representada pelos módulos Atendimento, Estrutura Viária/ Política de Despacho e Algoritmos/Rotinas.

O módulo Atendimento contém as seguintes estruturas de dados:

- Um conjunto de Protocolos e Parâmetros para classificar se os pedidos são de emergência ou não, baseado em diversas situações.
- Uma base de dados, onde os agentes de interface e consultivo possam acessar para orientar os clientes. Esse conjunto contém as informações necessárias sobre como os clientes devem se comportar em relação as diversas situações.
- Um conjunto de códigos referentes as principais doenças e sintomas para codificar o estado atual de saúde dos clientes, antes de repassar as informações para o agente administrativo.
- Um conjunto de dados gerados após a conclusão de um pedido de socorro. Esse conjunto é dividido em duas categorias: (1) dados administrativos, que fornecem informações gerais sobre a performance do sistema. Esses dados

são coletados para calcular as medidas de desempenho e são usados na análise estatística, e (2) dados relacionados ao paciente, que fornecem informações específicas relativas à condição socioeconômica e ao estado de saúde do paciente.

Esse módulo tenta produzir uma interface baseada em uma abordagem declarativa.

O módulo Estrutura Viária/Política de Despacho é composto pelos mapas da cidade e da política de despacho de cada unidade de emergência.

O módulo Algoritmos/Rotinas de Cálculo é composto das seguintes estruturas:

- Contém os algoritmos para os problemas da mediana e de centro, e problemas de exigências na resolução do problema de localização de facilidades.
- Contém as fórmulas que permitem calcular todas as medidas de desempenho do sistema global ou setorial.

5.3 A Administração do Sistema de Emergência

A administração do sistema de emergência é conduzida pelo agente administrativo congregando comunicação, coordenação, cooperação e integração entre os agentes, e entre clientes e agentes. Essas atividades serão modeladas como uma conversação em dois níveis:

- No primeiro nível a conversação é entre os clientes e os agentes de interface. O agente conversa com o cliente para enquadrá-lo o tipo de emergência que está sendo solicitado.
- No outro nível, a conversação ocorre entre dois ou mais agentes. A conversa entre os agentes de interface e o agente consultivo é dada na troca de informação do estado do paciente e como o mesmo deve se comportar até o socorro chegar. A conversa do Agente Administrativo com os demais, ocorre no patamar gerencial, ou seja, qual o setor da emergência? A unidade de emergência desse setor está ocupada? Estando, despacha a unidade mais

próxima. Pedir ao agente estatístico para calcular as medidas de desempenho do sistema em um determinado período. Em função dessas medidas, pedir ao agente zona um estudo da localização espacial e temporal do sistema.

5.3.1 Arquitetura de Comunicação

Como apresentado anteriormente, a plataforma está estruturada com base na arquitetura InteRRaP, onde é definida uma arquitetura para interoperabilidade. Nesse caso, a interoperabilidade é similar a realização de intercâmbio de informação e conteúdo de conhecimento dos agentes. Isto está relacionado com a comunicação entre os agentes, não é o transporte simplesmente de bits e bytes entre os agentes; os agentes deveriam ser capazes de se comunicar através de atitudes complexas sobre suas informações e conteúdo de conhecimento. Agentes precisam perguntar a outros agentes, informá-los, pedir seus serviços para uma tarefa, encontrar outros agentes que podem lhe ajudar, monitorar valores e objetos, e assim por diante. Tal funcionalidade, em um ambiente aberto, não pode ser provida por um mecanismo de chamada de procedimento à distância simples.

A comunicação dos agentes ocorre através da troca de mensagens padronizadas que adotam o padrão ACL (*agent Communication Language*). Essa linguagem é conhecida como KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*, que está focada nos formatos de mensagem em protocolos de manipulação destas mensagens entre agentes em execução.

A comunicação entre os agentes se dá através das interações dos mesmos, que podem ser feitas em vários níveis. O primeiro nível se preocupa com o conteúdo da informação que está sendo comunicado entre os agentes. Um pedaço da informação comunicada nesse nível pode ser um fato como “(aconteceu um atropelamento)”. A linguagem KIF (*Knowledge Interchange Format*) descreve o conteúdo da informação transmitida e os vocabulários conceituais (ontologias) que comunicam aos agentes têm que ser compartilhado para entender um ao outro.

O segundo nível especifica as intenções dos agentes. O mesmo conteúdo da informação pode ser comunicado com diferentes intenções.

O terceiro nível se preocupa com as convenções que os agentes compartilham quando há interação por intercâmbio de mensagens. A existência de convenções compartilhadas torna possível aos agentes coordenar seus objetivos,

atitudes e ações de modos complexos. Como um exemplo, considere o sistema multi-agente administrando o sistema de emergência. O agente de interface interagindo com o ambiente através de um cliente que pede uma ambulância para um atropelamento. Ele envia ao agente consultivo qual o estado da vítima. Sabendo que o agente consultivo somente dará conselhos e procedimentos de como agir o cliente até o socorro chegar. O agente de interface transmite o pedido ao agente administrativo para enviar uma ambulância ao local do acidente.

Finalmente, o quarto nível se preocupa como os agentes são modelados, i. é., quais são seus objetivos, crenças, metas, autoridades, etc., no gerenciamento do sistema. Esse aspecto de construir a arquitetura do sistema e representar os agentes como componentes dessa organização foi construído nos itens anteriores.

5.3.2 Ambiente das Conversações

O intercâmbio das mensagens são representadas como *performatives* (ações da fala) da linguagem de comunicação de agente - KQML. Assume a existência de um conjunto padrão de *performatives* que define as ações comunicativas disponível dentro do sistema que é reservado pela linguagem de comunicação de agente (VIEIRA, 2000). A esse conjunto padrão somam-se outras *performatives* de ordem mais altos como:

- *Transmit*. Isso é usado para transmitir ao agente administrativo que ocorreu um acidente e que o mesmo despache uma unidade de socorro. Por exemplo:
(Transmit :content (happen (running over) (street 9) (district são joão)))
Também pode ser usado para comunicar ao agente consultivo que ocorreu um atropelamento e o estado da vítima. Por exemplo:
(Transmit :content (happen (running over) (health condition 05)))
- *Cancel*. Os agentes podem utilizar para cancelar pedidos.

O ambiente do sistema de emergência é complexo, pois envolve *performatives* na comunicação, coordenação, cooperação e integração. Para exemplificar as conversações entre dois ou mais agentes, será apresentado um exemplo da implementação da comunicação entre os agentes quando um pedido de

emergência é feito. Deve-se ressaltar que o único agente que conhece todos os outros agentes é o administrativo. Nesse ambiente, as possíveis mensagens que são intercambiadas podem ser da seguinte maneira:

- Informação: são mensagens que solicitam ou enviam informações sobre uma ação específica, sobre todas as ações ou sobre as solicitações dos agentes.
- Solicitação: são mensagens que pedem com urgência o envio de unidade de emergência a um determinado local. Esses pedidos podem ser de caráter emergencial, tal como, uma ambulância, caminhão de bombeiro ou carro de polícia, como também de caráter gerencial, tal como, as medidas de desempenho ou novo zoneamento.

5.3.3 Exemplo das Conversações

Esses tipos de mensagens serão descritas em uma linguagem que chamam Linguagem de Manipulação de Emergências ou *LME*, que usam na cláusula *:language*.

A sintaxe da linguagem é:

Operação; Argumento 1; Argumento 2;; Argumento N

As mensagens que os agentes utilizam em suas conversações estão definidas no quadro 2.

Quadro 2: MENSAGENS DEFINIDAS NA LME

Mensagem	Ação
<i>Semergencia</i> ; tipo; codigotipo	Envia informações sobre o tipo de emergência representada no código. O tipo pode ser policial, incêndio ou pré-hospitalar.
<i>Unidade</i> ; codigotipo; endereço	Solicitar o envio de uma unidade de emergência em função das informações passadas.
<i>Modo</i> ; codigotipo; codigosintoma	Solicita informações como proceder em uma ação específica. Retorna uma cadeia de caracteres com a seguinte configuração: codigosintoma comoagir
<i>Modos</i>	Solicita todas informações como agir no caso de uma colisão de veículos onde existem pessoas presa nas ferragens. Retorna uma cadeia de caracteres com a seguinte configuração: Codigoação codigoagir
<i>resp</i> ; codigosintoma; comoagir; codigoação; codigoagir	Resposta à emergência.
<i>Estatística</i>	Pede para calcular todas as medidas de desempenho. Retorna uma cadeia de caracteres com a seguinte configuração: txmedia tpmedioue dtmedioue ctue tpocue
<i>Setor</i> ; txmedia; tpme; dtmedioue; ctue; tpocue	Pede para fazer um novo zoneamento em função das medidas de desempenho passada. Retorna uma cadeia de caracteres com a seguinte configuração: Setor1 setor2 setorn
<i>Resp</i> ; txmedia; tpmedioue; dtmedioue; ctue; tpocue; setor1; setor2;; setorn	Resposta para avaliar o sistema.

Fonte: Adaptado de Vieira (2000)

A ontologia usada é Emergência.

Os diálogos possíveis são os seguintes:

O agente de interface transmite ao agente administrativo as informações que ocorreu um incidente:

(transmit-one

- : **sender** *interface agent*
- : **content** *tipo; codigotipo*
- : **receiver** *administrative agent*
- : **replay-with** *Semergencia*
- : **language** *LME*
- : **ontology** *Emergencia)*

O agente de interface transmite ao agente administrativo o endereço onde ocorreu o incidente para enviar uma unidade de emergência:

(transmit-one

- : **sender** *interface agent*
- : **content** *codigotipo; endereço*
- : **receiver** *administrative agent*
- : **replay-with** *Unidade*
- : **language** *LME*
- : **ontology** *Emergencia)*

O agente de interface solicita ao agente consultivo as informações como o cliente deve proceder nessa situação:

(ask-one

- : **sender** *interface agent*
- : **content** *codigotipo; codigosintoma*
- : **receiver** *advisory agent*
- : **replay-with** *Modo*
- : **language** *LME*
- : **ontology** *Emergencia)*

A resposta do agente consultivo é:

(tell

: **sender** *advisory agent*
 : **content** *resp; codigosintoma; comoagir*
 : **receiver** *interface agent*
 : **in-replay-to** *Modo*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

O agente administrativo solicita ao agente estatístico o cálculo de todas as medidas de desempenho do sistema:

(ask-all

: **sender** *administrative agent*
 : **content** *txmedia; tpmedioue; dtmedioue; ctue; tpocue*
 : **receiver** *statistical agent*
 : **replay-with** *Estatistica*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

A resposta do agente estatístico é:

(tell

: **sender** *statistical agent*
 : **content** *Resp; txmedia; tpmedioue; dtmedioue; ctue; tpocue*
 : **receiver** *administrative agent*
 : **in-replay-to** *Estatistica*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

O agente administrativo solicita ao agente zona para calcular o novo zoneamento em função das medidas de desempenho do sistema:

(ask-one

: **sender** *administrative agent*
 : **content** *txmedia; tpmedioue; dtmedioue; ctue; tpocue*
 : **receiver** *zone agent*
 : **replay-with** *Setor*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

A resposta do agente zona é:

(tell

: **sender** *zone agent*
 : **content** *Resp; setor1; setor2;; setorn*
 : **receiver** *administrative agent*
 : **in-replay-to** *Setor*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

O agente de interface pede ao agente consultivo que diga tudo que ele conhece sobre uma situação:

(stream-about

: **sender** *interface agent*
 : **content** *codigotipo; codigosintoma*
 : **receiver** *advisory agent*
 : **in-replay-to** *Modos*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

O agente consultivo responde com uma seqüência de *tells*:

(tell

: **sender** *advisory agent*
 : **content** *resp; codigosintoma1; comoagir1*
 : **receiver** *interface agent*
 : **in-replay-to** *Modos*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

(tell

: **sender** *advisory agent*
 : **content** *resp; codigosintoma2; comoagir2*
 : **receiver** *interface agent*
 : **in-replay-to** *Modo*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

(tell

: **sender** *advisory agent*
 : **content** *resp; codigosintoma3; comoagir3*
 : **receiver** *interface agent*
 : **in-replay-to** *Modo*
 : **language** *LME*
 : **ontology** *Emergencia)*

5.4 Conclusão

Os progressos obtidos no desenvolvimento de novas tecnologias baseadas em conhecimento, têm contribuído para o aumento do potencial de aplicação dos computadores.

Agentes de software propõem um novo paradigma para construir aplicações heterogêneas distribuídas em grande escala que enfocam comunicação, coordenação, cooperação e integração.

A plataforma multi-agentes foi estruturada para que possa ser desenvolvidas novas classes de agentes mais especializados. Estes novos agentes podem oferecer novas funcionalidades ao ambiente ou podem ser aplicados em outros domínios.

Uma importante característica observada no modelo para gerenciar um sistema de emergência é a sua flexibilidade de utilização. O ambiente está preparado para aceitar vários tipos de atendimento.

6 APLICAÇÃO NO ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR

Os sistemas de emergência empregam os métodos tradicionais, utilizando os atendentes, onde os dados são armazenados em papéis. Esta abordagem defende que esses sistemas sejam centralizada e automatizada.

A plataforma definida na seção anterior pode ser ajustada perfeitamente para um ambiente de atendimento pré-hospitalar. Neste contexto, agentes de interface podem interagir com os clientes, os agentes consultivo apresentam o seu conhecimento sobre os sintomas dos pacientes, o agente administrativo gerencia toda prestação da emergência, o agente estatístico calcula a carga de trabalho de cada ambulância e outra medidas, e o agente zona, com base nas medidas de desempenho, propõe uma nova divisão de trabalho das ambulâncias.

Para efeito de teste e avaliação do ambiente, está sendo simulado o sistema de atendimento pré-hospitalar em uma área que contém dois setores de abrangência, sendo atendidos por duas ambulâncias. O software utilizado para fazer essa modelagem é o *ARENA* Versão 2.1.

6.1 Ambiente de Simulação

A Figura 18, mostra a janela de trabalho do *Arena*, onde a lógica do sistema de atendimento pré-hospitalar é mostrado através de vários módulos (anexo).

- ❑ O módulo *Arrive* representa a chegada dos pedidos.
- ❑ O módulo *Server* representa os agentes de interface.
- ❑ O primeiro módulo *AdvServer* representa o agente administrativo.
- ❑ Os outros módulos *AdvServer* representa os hospitais dos respectivos setores de abrangência.
- ❑ Os módulos *Station* representam os pedidos dos dois setores, que foi dividido pelo agente zona.
- ❑ Os módulos *Depart* representam as conclusões dos atendimentos.
- ❑ Os módulos *Transporter* representam as respectivas ambulâncias.
- ❑ O módulo *Statistics* representa o agente estatístico.

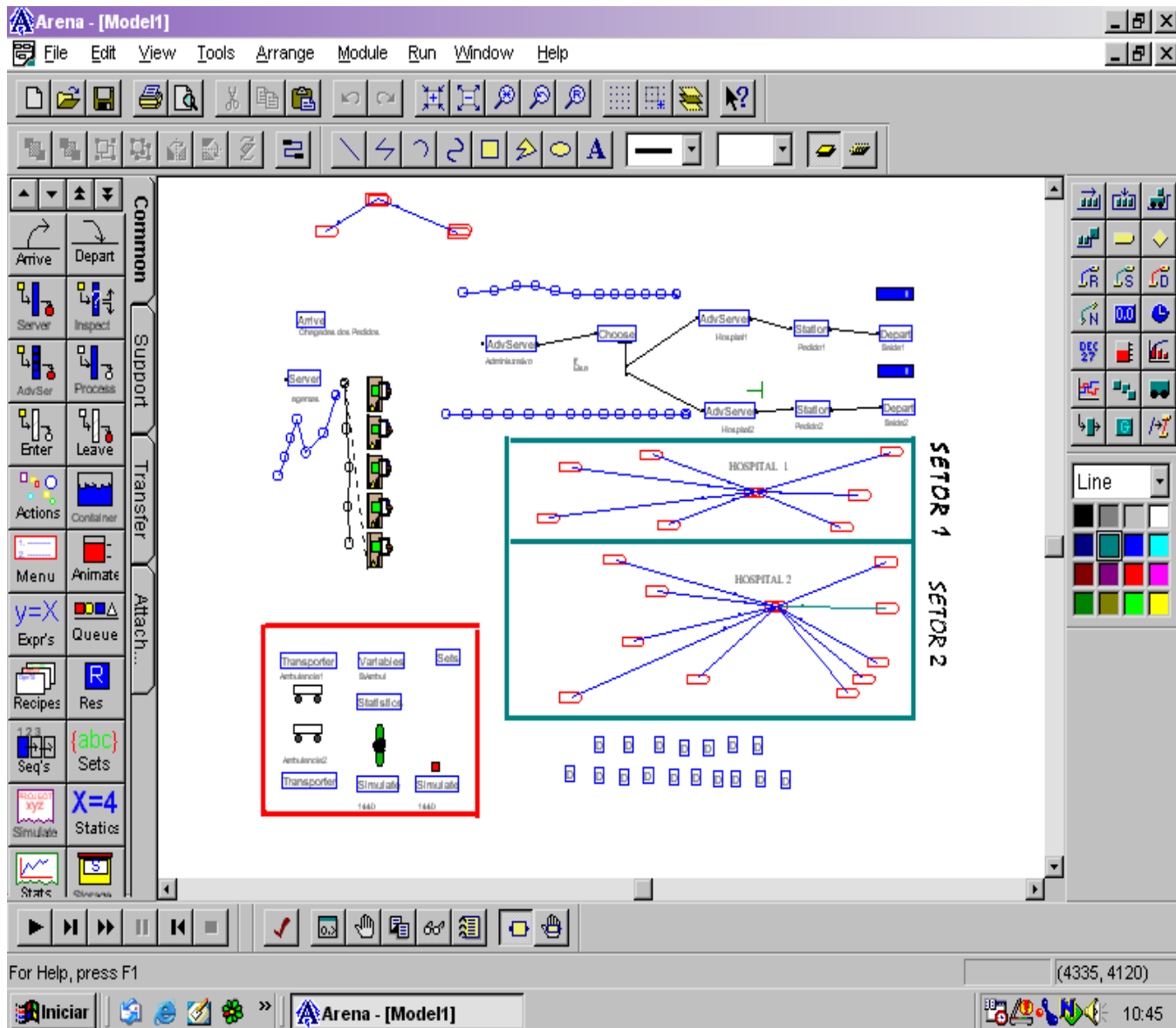


Figura 18: Ambiente do Arena

6.2 Resultado da Simulação

A Tabela 1, mostra o resultado de uma simulação do sistema de atendimento pré-hospitalar trabalhando 24 horas sem interrupção, que corresponde 1440 minutos de simulação. O sistema atendeu nesse período a 18 pedidos de emergência ao todo, sendo que cada hospital através de suas ambulâncias atendem 9 pedidos. O tempo médio que a ambulância 1 levou para atender os pacientes foi de 11,9 minutos, podendo variar até 31,5 minutos no máximo. Para a ambulância 2, o tempo médio no atendimento foi de 21,3 minutos, podendo variar até 58,4 minutos no máximo. Enquanto os agentes de interface atenderam todos os 18 pedidos sem tempo de espera.

As diferenças encontradas no atendimento das ambulâncias são em função das distâncias percorridas pela ambulância do setor 2 que são maiores.

Na segunda parte do relatório de conclusão do *Arena*, mostra as percentagens que as ambulância e os agentes de interface estão ocupado. A ambulância do setor 1 passa 17,3% do seu tempo ocupada, enquanto a do setor 2 passa 40,8% do seu tempo ocupada e os agentes de interface passam 12,4% ocupados. As duas medidas representadas por # in Hospital1_R_Q e # in Hospital1_R_Q, mostram os tempos médios que os pedidos ficam esperando na fila para serem atendidos, que nesse exemplo não houve nenhum tempo de espera.

Na terceira parte, mostra o número de pedidos que foram atendidos pelos agentes de interface, o número de pedidos processado pelo agente administrativo e os pedidos atendidos pelos respectivos hospitais.

Tabela 1: Resultado da Simulação do Modelo

ARENA Simulation Results
Summary for Replication 1 of 1

Project: Run execution date : 10/15/2002

Analyst: Model revision date: 10/15/2002

Replication ended at time : 1440.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Variation	Minimum	Maximum	Observations
Hospital2_R_Q Queue Ti	21.273	1.0486	.00000	58.382	9
Agentes_R_Q Queue Time	.00000	--	.00000	.00000	18
Hospital1_R_Q Queue Ti	11.866	1.0382	.00000	31.488	9

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Variation	Minimum	Maximum	Final Value
Ambulancia2 Busy	.40824	1.2039	.00000	1.0000	.00000
Ambulancia1 Busy	.17308	2.1858	.00000	1.0000	.00000
agentes_R Busy	.12359	2.6629	.00000	1.0000	.00000
Ambulancia2 Active	1.0000	.00000	1.0000	1.0000	1.0000
Ambulancia1 Active	1.0000	.00000	1.0000	1.0000	1.0000
# in Hospital2_R_Q	.00000	--	.00000	.00000	.00000
# in Hospital1_R_Q	.00000	--	.00000	.00000	.00000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Numero_Pedidos	18	Infinito
Administrativo_C	18	Infinito
Hospital1_C	9	Infinito
Hospital2_C	9	Infinito

Analisando os resultados obtidos nessa simulação e seu período, pode-se considerar uma boa solução levando em consideração os seguintes pontos:

- Os agentes de interface atenderam todos os pedidos sem tempo de espera durante o período da simulação, pois os mesmos só comprometeram 12,4% do seu tempo.
- O agente administrativo processou todos os pedidos designando a respectiva ambulância para o atendimento, cumprindo suas metas proposta na simulação.
- Os pedidos de emergência como um todo, foram atendidos prontamente, pois nenhum encontrou a respectiva ambulância ocupada, não comprometendo a qualidade do atendimento.

O tempo médio total e a qualidade do atendimento possivelmente seriam melhores, se o agente consultivo fosse modelado, pois em função do seu conhecimento e a situação apresentada, assiste o cliente através de uma monitoração constante de eventos e procedimentos, indicando a aplicação apropriada da emergência. Isto é feito através da verificação da situação do cliente e pela identificação dos casos mais apropriados para aquele momento. Ele desempenha tarefas em favor dos clientes, como também podem treinar ou ensinar os clientes como agir em certas situações sem a necessidade do deslocamento de uma ambulância.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta um modelo orientado à agentes para o gerenciamento de um sistema de emergência. Devido a complexidade inerente ao sistema, é necessário tratá-la de uma maneira global pela divisão do trabalho entre os agentes. Foi definida uma plataforma multi-agentes com diferentes classes de agentes, capazes de interagir entre si e com os seus clientes, permitindo facilidades de colaboração nos níveis agente-agente e agente-cliente.

Essa estrutura tem as seguintes vantagens:

- Permite decompor o problema em vários módulos funcionais, que interagindo através da linguagem de comunicação de agente torna a solução mais rápida e eficaz.
- Permite modelar os agentes de um conhecimento a priori, através de uma base de conhecimento contendo padrões, protocolos e códigos para o atendimento dos pedidos, como também de algoritmos e rotinas de cálculos que permita calcular as medidas de desempenho e propor ajustes no sistema.
- Permite mostrar rapidamente suas deficiências em função do melhoramento do serviço prestado, como também a necessidade de sua ampliação e especialização para melhor atender a população.
- Permite oferecer uma rede pública segura de serviços de emergência à população com mais rapidez, eficiência e abrangência em função da otimização da frota das unidades de emergência, como também a melhoria da infra-estrutura do serviço proporcionando uma maior transparência nos atendimentos.

Conclui-se, portanto, que o desenvolvimento desta tese poderá auxiliar a cobrir uma lacuna existente na área de gerenciamento e planejamento de sistemas emergenciais de maneira geral.

7.1 Contribuições do Trabalho

O dimensionamento dos serviços de emergência é levado em conta a localização espacial e temporal através da minimização de custos e distância, sem levar em consideração o atendimento, planejamento e gerenciamento. Talvez a maior contribuição desse trabalho reside na integração desses problemas, e com isso tornando-se mais simples a introdução de dados, a obtenção e análise dos resultados. Considerando a falta de estatística e as dificuldades de obtenção de dados principalmente em países em desenvolvimento, essa estrutura permite o armazenamento de dados automaticamente.

O sistema de emergência modelado através de uma sociedade multi-agente permite, em função de ser completamente automatizado, de armazenar dados referente ao atendimento dos clientes de um modo geral, possibilitando uma análise completa de todo sistema rapidamente. Podendo saber:

- como se comporta as distribuições de probabilidade do tempo das entre chegadas, como também do tempo de serviço por setor;
- a taxa média de pedido de socorro por setor;
- o tipo de emergência mais freqüente por setor;
- no caso de atendimento pré-hospitalar, quais as doenças e sintomas mais freqüente por setor;
- no caso de combate a incêndio, qual o setor que teve maior incidência de incêndio;
- no caso de atendimento policial, quais os tipos de ocorrência que tem mais incidência por setor.

Em função da análise dessas informações que o sistema pode oferecer a sociedade e ao setor público, pode-se traçar políticas públicas como também ter um planejamento participativo e estratégico com a participação dessa sociedade.

7.2 Trabalhos Futuros

Os estudos referentes ao gerenciamento, planejamento e otimização dos sistemas de atendimento emergencial ainda são incipientes, portanto, existe um

campo aberto a novas pesquisas. Este trabalho poderá, então, ser complementado em várias áreas, como por exemplo:

- Modelos de simulação: Permitem rapidamente que sejam avaliadas as conseqüências de prováveis alterações no nível de demanda ou no número de facilidades a serem instaladas, assim como para verificar qual as possíveis deficiências no sistema.
- Modelos de roteirização: Modelar um agente com fotos via satélite que seja responsável por esse problema. Permitindo diminuir ainda mais o tempo resposta ao informar qual o caminho mais conveniente para se chegar mais rápido ao local dos incidentes e onde o trânsito está lento.
- Modelos de distribuição hierárquica de veículos: Isso seria incluindo na agenda de trabalho dos agentes administrativo e zona. Permitindo que a região de estudo fosse atendida por viaturas mais leves distribuídas por vários distritos e por veículos de grande porte, como escadas telescópicas, que ficariam baseadas em pontos mais centrais sendo requisitados somente quando necessário.
- Modelos de equalização da carga de trabalho das equipes de emergência seria incluído na agenda do agente administrativo, permitindo um melhor desempenho de seus integrantes.
- Modelagem dos agentes de interface e os dos agentes consultivos em função de um conhecimento a priori utilizando redes neurais.
- Construção da base de conhecimento:

Além da sugestão das pesquisas, é necessário implementar o modelo proposto, tentando especializar e dar prioridades às unidades de emergência. Na distribuição espacial é necessário que proceda uma divisão mais criteriosa dos setores, levando em consideração os resultados obtidos com a implementação, definindo pesos em função da carga de trabalho de cada setor. Para a distribuição temporal poderiam ser testados novos critérios para determinar o ponto de saturação da capacidade de atendimento das equipes de emergência, por exemplo, tempo máximo que o cliente fica na fila a espera de uma viatura disponível para socorrê-lo.

Com o advento do computador as técnicas de IA têm uma vasta aplicação

nesse campo de pesquisa. Utilização de redes neurais, na aprendizagem dos referidos agentes como na classificação dos tipos de emergência e várias situações enfrentadas no dia a dia pelos agentes; raciocínio baseado em casos e sistemas especialistas, na construção, compartilhamento e reutilização das bases de conhecimento; algoritmo genético, na otimização do sistema.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C. W. Patient-Care Documentation, 1999. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/patient.html>>. Acesso em: 09 fev. 2001.
- ANTP: Política Nacional de Trânsito – PNT (versão para debate). Disponível em <http://www.antp.org.br/telas/transito/capitulo1_transito.htm>. Acesso em: 26 jan. 2001.
- AUER, K. Agents, 1995. Disponível em <<http://www.tip.net.au/~kauer/project/main.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2000.
- BALL, M. A.; LIN, F. L. A reliability model applied to emergency service vehicle location. **Operations Research**, vol. 41, pp. 18-36, 1993.
- BELGRAVE, M. The unified agent architecture: A White Paper, 1995. Disponível em <http://www.ee.mcgill.ca/~belmarc/uaa_paper.html>. Acesso em: 13 mar. 2000.
- BEZERRA, O. B. **Localização de postos de coleta para apoio ao escoamento de produtos extrativistas** – Um estudo de caso aplicado ao babaçu. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- BROOKS, R. A. A robust layered control system for mobile robot. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, 2(1): 24-23, 1986.
- BUSSMANN, S.; DEMAZEAU, Y. An agent model combining reactive and cognitive capabilities. In **Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS – 94)**, Munich, Germany, 1994.

- CARTER, G. M.; CHAIKEN, J. M.; IGNALL, E. Response areas for two emergency units. **Operations Research**, May-June, pp 571-593, 1972.
- CHRISTOFIDES, Nicos. **Graph Theory: An algorithmic approach**. Academic Press London, 1975.
- COHEN, P. R.; Greenberg, M. L.; Howe, A. E. Trial by Fire: Understanding the design requirements for agents in complex environments. **AI Magazine**, 10(3): 32-48, 1989.
- COSTA, Marcello Thiry Comicholi. **Uma arquitetura baseada em agentes para suporte ao ensino à distância**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- CROSS J. Dispatch and Confidentiality, 1997. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/dispatch.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.
- DAGANZO, C. F. The distance traveled to visit N points with a maximum of C stops per vehicle: An analytic model and an application. **Transportation Science** 18(4): 331-350, 1984.
- DAGANZO, C. F. The length of tours in zones of different shapes. **Transportation Research -B** 18B(2): 135-145, 1984.
- DAVIS, H. EMS Education: Developing a new philosophy of practice, 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/philosophy.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.
- DOYLE, T. J.; VISSERS, R. J. An EMS approach to psychiatric emergencies , 1999. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/psyc.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.

- DUMIRE, R.; PEITZMAN, A. B. Field management and priorities in trauma patient resuscitation, 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/priorities.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.
- EID, C. A. G. Atendimento do infarto agudo do miocárdio no APH, 2001. Disponível em <http://www.aph.com.br/Atend_Infarto_Agudo_Miocardio.htm>. Acesso em: 12 mai. 2001.
- EID, C. A. G. Tempo-resposta no APH, 2001. Disponível em <<http://www.aph.com.br/tempo-resposta/>>. Acesso em: 12 mai. 2001.
- FININ, Tim et al. DRAFT: Specification of KQML Agent Communication Language. **The DARPA Knowledge Sharing Initiative External Interfaces Working Group**, 1993. Disponível em <<http://www.cs.umbc.edu/kqml/papers/kqmlspec.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2001.
- FININ, Tim et al. KQML as an Agent Communication Language. In **Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management**, ACM Press, 1994.
- FRANKLIN, S.; GRAESSER, A. Is it an agents, or just a program?: A taxonomy for autonomus agents. **Third International Workshop on Agente Theories, Architetures and Languages, Springer-Varlag**, 1996. Disponível em <<http://www.msci.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html>>. Acesso em : 29 out. 1997.
- FRIESZ, T.; BERNSTEIN, D.; STOUGH R. Dynamic systems, variational inequalities and control theoretic models for predicting time-varying urban network flows. **Transportation Science**, 30 (1): 14 – 31, 1996.

GENESERETH, M.; FIKES, R. Knowledge Interchange Format, Version 3.0 – Reference Manual. **Logic Group, Computer Science Department**, Stanford University, 1992.

GENESERETH, M. R.; KETCHPEL, S. P. Software agents. **Communications of the ACM**, pp. 48 – 53, 1994.

GIESE, Luiz Fernando. **Estrutura de agentes para os processos de compra e venda utilizando tomada de decisão difusa**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFSC, Florianópolis.

GILBERT, D.; MANNY, A. Intelligent agent strategic, 1996. Disponível em <<http://activist.gpl.ibm.com:81/WhitePaper/ptc2.htm1>>. Acesso em: 10 nov. 1999.

GONÇALVES, M. B.; NOVAES A. G. N.; ALBINO J. C. C. Modelos para localização de serviços emergenciais em rodovias. XXVI SIMPÓSIO BRASILEIROS DE PESQUISA OPERACIONAL, pp. 591 – 596, 1994. **Anais**. Florianópolis, 1994.

GONÇALVES, M. B. Métodos de pesquisa operacional em serviços emergenciais. XXVI SIMPÓSIO BRASILEIROS DE PESQUISA OPERACIONAL, pp. 597 – 601, 1994. **Anais**. Florianópolis, 1994.

HAYES-ROTH, B. An architecture for adaptive intelligent systems. **Artificial Intelligence**, 72: 329-365, 1995.

HEILMANN, Kathryn et. al. Intelligent Agents: A technology and business application analysis. BA248D: Telecommunications and Distributed Processing, Mark Nissen, Professor, November 30, 1995. Disponível em <<http://haas.berkeley.edu/~heilmann/agents/>>. Acesso em: 29 set. 1997.

HODGSON, M. J. The location of public facilities intermediate to the journey to work. **European Journal of Operational Research** 6. pp. 199 – 204, 1981.

IGNALL, Edward et al. Improving the deployment of New York City fire companies. **INTERFACES Practice of Management Science**, Vol. 5, Nº 2, pp. 48 – 61, 1975. Disponível em <<http://silmaril.smead.psu.edu/interfaces/pdfs/v05n24a4.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2001.

KOCH, F. L. **Agente autônomos para gerenciamento de redes de computação**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFSC, Florianópolis.

KEENEY, R. L. A method for districting among facilities. **Operations Research**, pp. 613 – 618, 1972.

KOLESAR, P.; WALKER, W. E. An algorithm for the dynamic relocation of fire companies. **Operations Research** 22: 249 – 274, 1974.

KOLESAR, P. A model for predicting average fire engine travel times. **Operations Research**, Vol. 23, Nº 4, pp 603 – 613, 1975.

KOLESAR, P.; WALKER, W. E.; HAUSNER, J. Determining the relation between fire engine travel times and travel distances in New York City. **Operations Research**, Vol. 23, Nº 4, pp 614 – 627, 1975.

LABROU, Y.; FININ T. A proposal for a new KQML specification, 1997. Disponível em <<http://www.co.umbc.edu/kqml/paper/kqml97.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2001.

LABROU, Y.; FININ, T.; PENG, Y. The Interoperability Problem: Bringing together Mobile Agents and Agent Communication Languages, 1999. Disponível em <<http://umbc.edu/~finin/papers/hicss99.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2001.

LARSON, R. C. Approximating the performance of urban emergency service systems. **Operations Research**, Vol. 23, Nº 5, pp 614 – 627, 1975.

LARSON, Richard; ODONI, Amadeo. **Urban Operations Research**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981.

LARSON, R. C.; FRANCK, E. A. Evaluating dispatching consequences of automatic vehicle location in emergency services. **Computation & Operations Research**, Vol. 5, pp 11 – 30, 1978.

LARSON, R. C.; STEVENSON, K. A. On insensitivities in urban redistricting and facility location. **Operations Research**, Vol. 20, pp 595 – 612, 1972.

LEONARD, R. F. EMS operations on the fireground, 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/fireground.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.

MAES, P. The agent network architecture (ANA). **SIGART Bulletin**, 2(4): 115-120 , 1991.

MAES, P. Agents that reduce work and information overload. **Communication of the ACM**, Vol. 37, Nº 7, pp 31 – 40, 1994.

MAES, P. Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike autonomous agents. **Communications of ACM**, p.108, 1995.

- MEADE, D. M. Expanded-Scope Practice: EMS at the crossroads of care, 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/meade.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.
- MITTERER, D. Cack injures in EMS, 1999. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/emsback.html>>. 08 fev. 2001.
- MÜLLER, J. P.; PISCHEL, M. Modelling interacting agents in dynamic environments. In **Proceedings of the Eleventh European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-94)**, pages 709-713, Amesterdam, The Netherlands, 1994.
- MURNANE, J.; VOELTZ W. Ambulance Service and Managed Care: The MCO perspective, 2000. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/managedcare.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.
- MUSEN, M. A. Dimensions of knowledge sharing and reuse. **Computers and Biomedical Research**, 25, pp. 435 – 467, 1992.
- NICHOLL, J. S. Prehospital management of the seizure patient, 1999. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/seizure.html>>. Acesso em: 09 fev. 2001.
- NISSEN, M. Intelligent Agents: A technology and bussiness application analysis, 1995. Disponível em <<http://www.mines.unancy.fr/~gueniffe/CoursEMN/I31/heimann/heimann.html>>. Acesso em: 23 set. 1997.
- NORDBERG, M. Emergency Medical Dispatch: A changing profession, 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/profession.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.
- NOVAES, Antônio. **Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos probabilísticos**. McGraw-Hill do Brasil, 1975.

OLIVEIRA, M. Avaliação do paciente no ambiente pré-hospitalar, 2000. Disponível em <http://www.aph.com.br/AV_PACIENTE_AMBIENTE_PH.htm>. Acesso em: 12 mai. 2001.

PARAISO, E. C. Sistema multi-agente para monitoração e controle de processos, 1996. Disponível em <<http://dainf.cefetpr.br/~paraiso>>. Acesso em: 20 nov. 1999.

PRICE, D.; BURNS B. Brain injuries, 1999. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/brain.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.

REDELSTEINER, C. Role and function of EMS supervisors, 1997. Disponível em <<http://pdm.medicine.wisc.edu/Mainzabstracts.html>>. Disponível em: 24 fev. 2001.

RUSSEL, Stuart; NORVING, Peter. **Artificial Intelligence: A modern approach**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1995.

RYAN, T. A. Costs of delays to emergency vehicles at rail-highway grade crossings. **Transportation Quarterly**, Vol. 44, N° 4, pp. 549 – 562, 1990.

SCHREUDER, J. A. M. Application of a location model to fire stations in Rotterdam. **European Journal of Operational Research** 6, pp. 212 – 219 , 1981.

SOUZA, E. M. S. **Uma estrutura de agentes para assessoria na Internet**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

SOUZA, João Carlos. **Dimensionamento, localização e escalonamento de serviços de atendimento emergencial**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

SOUZA, J. C.; NOVAES, A. G. Dimensionamento, localização e escalonamento temporal de serviços de emergência. XXVI SIMPÓSIO BRASILEIROS DE PESQUISA OPERACIONAL, pp. 332 –337, 1994. **Anais**. Florianópolis, 1994.

SPIVAR, M. No Time To Wait: An overview of recent studies and departmental programs designed to improve prehospital response to cardiac emergencies , 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/wait.html>>. Acesso em: 09 fev. 2001.

SPIVAK, M. Taining the Trainers: Emergency International provides EMS systems development, 2000. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/inter.html>>. Acesso em: 08 fev. 2001.

STREGER M. R. Prehospital triage, 1998. Disponível em <<http://emsmagazine.com/articles/emsarts/triage.html>>. Acesso em: 09 fev. 2001.

THONEMANN, U. W.; BRANDEAU, M. L. Designing a zoned automated guided vehicle system with multiple vehicles and multiple load capacity. **Operations Research**, 45(6): 857-873, 1997.

VIEIRA, Richard Gregory Silva. **Construção de uma interface KQML em SMALLTALK**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFSC, Florianópolis.

WIE, B. W.; TOBIN R. L.; FRIESZ, T. L.; BERNSTEIN, D. A Discrete time, nested cost Operator approach to the dynamic network user equilibrium problem. **Transportation Science** 29 (1): 79 – 92, 1995.

WOOLDRIDGE, M.; JENNING, N. R. Intelligent Agents: Theory and practice, 1995. Disponível em <<http://www.doc.mmu.ac.uk:80/STAFF/mike/ker95/ker95-html.html>>. Acesso em: 02 out. 1997.

APÊNDICE

Módulos que compõem o sistema de atendimento pré-hospitalar

1. Módulo *Arrive*

Representa as chegadas dos pedidos de emergência no sistema.

Arrive

Enter Data

Station Station Set

Station: Chegadas dos Pedidos

Station... Options...

Arrival Data

Batch Size: 1

First Creation: 0.0

Time Between: TRIA(20, 80, 120)

Max Batches:

Mark Time Attribute: Tempo da Chega

Assign... Animate...

Leave Data

Tran Out... Count...

Route StNm Seg Expr

Connect

Station: agentes

Route Time: 0.

OK Cancel Help

2. Módulo *Server*

Representa os cinco agentes de interface.

Server

Enter Data

Label: Station: agentes

Server Data

Resource: agentes_R

Capacity Type: Capacity

Capacity:

Resource Statistics

Process Time: TRIA(5, 10, 15)

Leave Data

Route StNm Seg Expr

Connect

Station: Administrativo

Route Time:

3. Módulo *Advanced Server*

Representa o agente administrativo

Advanced Server

Enter Data

Label:

Station **Administrativo**

Station Set

Release Resource

Free Transporter

Exit Conveyor

None

Station... Unload: 0

Process Data

Seize Resource

Request Resource Set

None Specific Member

Expression

Resource Set: **Setores**

Rule: **Preferred Order**

Store Index in Att: **SetorNumero**

Process Time: 0

Options... Queue...

Animate... Count...

Leave Data

Seize

Request

Access

None

Load: 0

Route

Transport

Convey

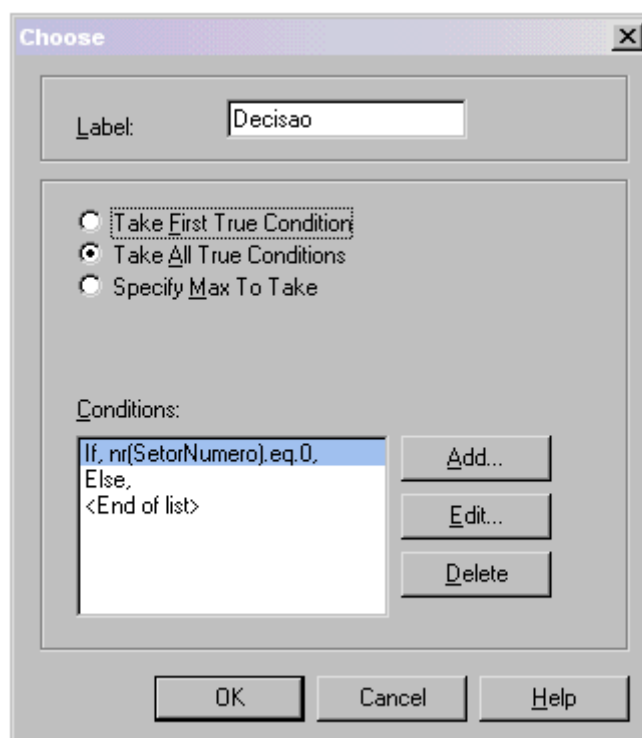
Connect

Next Label:

OK Cancel Help

4. Módulo *choose*

Representa as decisões que o agente administrativo toma em relação ao setor que pertence o pedido.



5. Módulo *Advanced Server*

Representa o hospital 1, que atende os pedidos do seu referido setor.

Advanced Server [X]

Enter Data

Label:

Station **Hospital1** Release Resource

Station Set Free Transporter

None Exit Conveyor

Station... Unload: **0.**

Process Data

Seize Transporter

Request Specific Unit

None

Transporter: **Ambulancia1**

Unit Number: **StAmbul(SetorNumer)**

Process Time: **TRIA(5, 15, 25)**

Leave Data

Seize Request

Access None

Load: **0.**

Route Transport

Convey Connect

Next Label:

6. Módulo *Advanced Server*

Esse outro, representa o hospital 2, que atende os pedidos do seu referido setor.

Advanced Server [X]

Enter Data

Label:

Station Release Resource

Station Set Free Transporter

Station... Exit Conveyor

None

Process Data

Seize Transporter

Request Specific Unit

None

Transporter:

Unit Number:

Process Time:

Leave Data

Seize Request

Access None

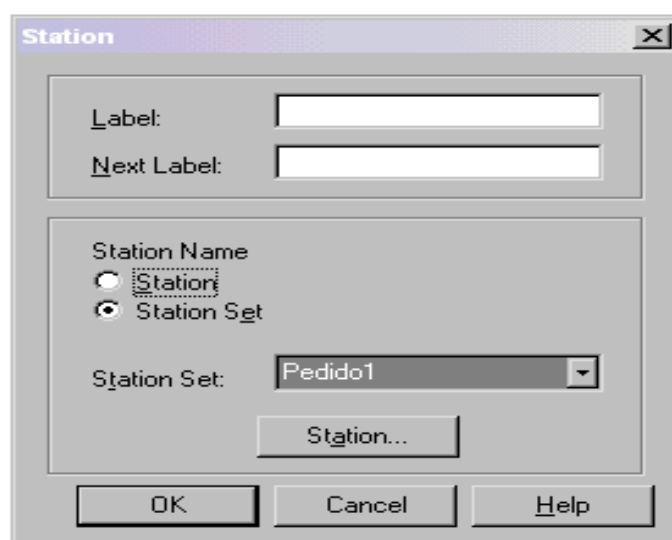
Load: Route

Transport Convey

Next Label:

7. Módulo *Station*

Os dois módulos *station*, representam os pedidos de emergência dos respectivos setores.



The screenshot shows a dialog box titled "Station" with a close button (X) in the top right corner. It contains two text input fields: "Label:" and "Next Label:". Below these is a section titled "Station Name" with two radio buttons: "Station" (unselected) and "Station Set" (selected). Under "Station Set", there is a dropdown menu showing "Pedido1" and a "Station..." button. At the bottom are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".



The screenshot shows a dialog box titled "Station" with a close button (X) in the top right corner. It contains two text input fields: "Label:" and "Next Label:". Below these is a section titled "Station Name" with two radio buttons: "Station" (unselected) and "Station Set" (selected). Under "Station Set", there is a dropdown menu showing "Pedido2" and a "Station..." button. At the bottom are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

8. Módulo *Depart*

Os módulos *depart*, representam as conclusões dos atendimentos pelas ambulâncias dos respectivos setores.

The screenshot shows the 'Depart' dialog box with the following settings:

- Enter Data:**
 - Label: [Empty text box]
 - Station (Selected)
 - Station Set
 - Station: Saida1 (Dropdown menu)
 - Buttons: Station..., Iran In..., Options...
- Count:**
 - Individual Counter (Selected)
 - Counter Set Member
 - None
 - Counter: Hospital1_C (Dropdown menu)
 - Increment: 1 (Text box)
- Tally:**
 - Individual Tally (Selected)
 - Tally Set Member
 - None
 - Tally: Hospital1_R_Q Queu (Dropdown menu)
- Type of Statistics:**
 - Interval (Selected)
 - Between
 - Expr
 - Attribute: Tempo da Chegada (Dropdown menu)
- Buttons: OK, Cancel, Help

The screenshot shows the 'Depart' dialog box with the following settings:

- Enter Data:**
 - Label: [Empty text box]
 - Station (Selected)
 - Station Set
 - Station: Saida2 (Dropdown menu)
 - Buttons: Station..., Iran In..., Options...
- Count:**
 - Individual Counter (Selected)
 - Counter Set Member
 - None
 - Counter: Hospital2_C (Dropdown menu)
 - Increment: 1 (Text box)
- Tally:**
 - Individual Tally (Selected)
 - Tally Set Member
 - None
 - Tally: Hospital2_R_Q Queu (Dropdown menu)
- Type of Statistics:**
 - Interval (Selected)
 - Between
 - Expr
 - Attribute: Tempo da Chegada (Dropdown menu)
- Buttons: OK, Cancel, Help

9. Módulo *Transporter*

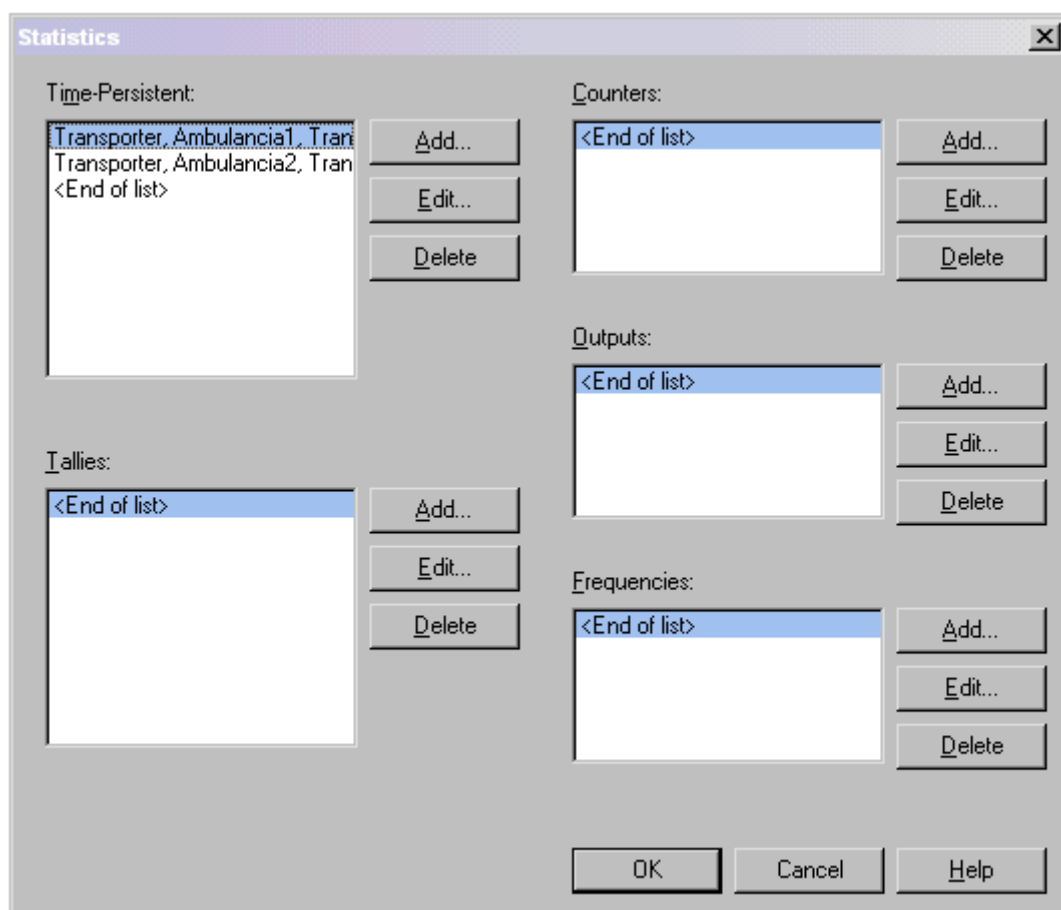
Esses módulos representam as ambulâncias que estão estacionadas nos referidos hospitais.

The screenshot shows the 'Transporter' configuration dialog for 'Ambulancia1'. It features a title bar with a close button. The main area contains several fields: 'Transporter:' with a dropdown menu showing 'Ambulancia1'; 'Number of Units:' with a text input field containing '1'; two radio buttons for 'Free Path' (selected) and 'Guided Path'; 'Distance Set:' with a dropdown menu showing 'Ambulancia1_Dst'; and 'Velocity:' with a text input field containing '80'. Below these is the 'Initial Position Status:' section, which includes a list box containing 'Station, Hospital1, Active' and '<End of list>', with 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' buttons to its right. A 'Statistics' checkbox is checked. At the bottom, there are buttons for 'Schedule...', 'Options...', 'Stats...', and 'Failure...', followed by 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

The screenshot shows the 'Transporter' configuration dialog for 'Ambulancia2'. It features a title bar with a close button. The main area contains several fields: 'Transporter:' with a dropdown menu showing 'Ambulancia2'; 'Number of Units:' with a text input field containing '1'; two radio buttons for 'Free Path' (selected) and 'Guided Path'; 'Distance Set:' with a dropdown menu showing 'Ambulancia2_Dst'; and 'Velocity:' with a text input field containing '60'. Below these is the 'Initial Position Status:' section, which includes a list box containing 'Station, Hospital2, Active' and '<End of list>', with 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' buttons to its right. A 'Statistics' checkbox is checked. At the bottom, there are buttons for 'Schedule...', 'Options...', 'Stats...', and 'Failure...', followed by 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

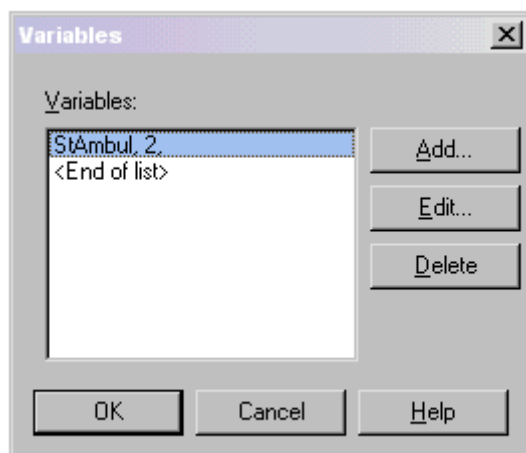
10. Módulo *Statistics*

Representa o agente estatístico.



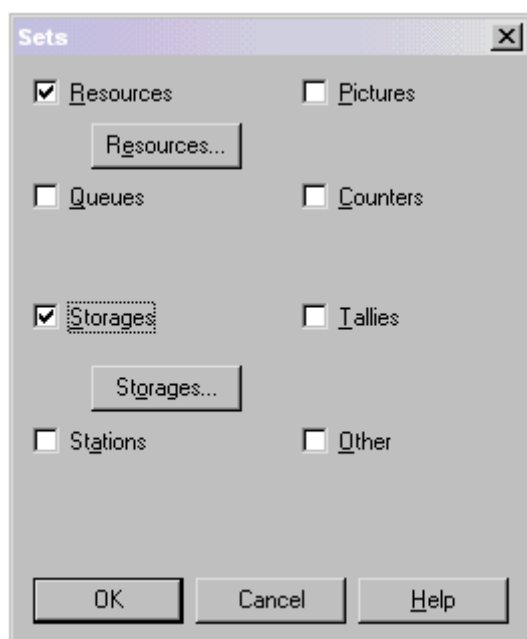
11. Módulo *Variables*

Representa o local onde são definidas as variáveis utilizadas nos cálculos e análise do sistema.



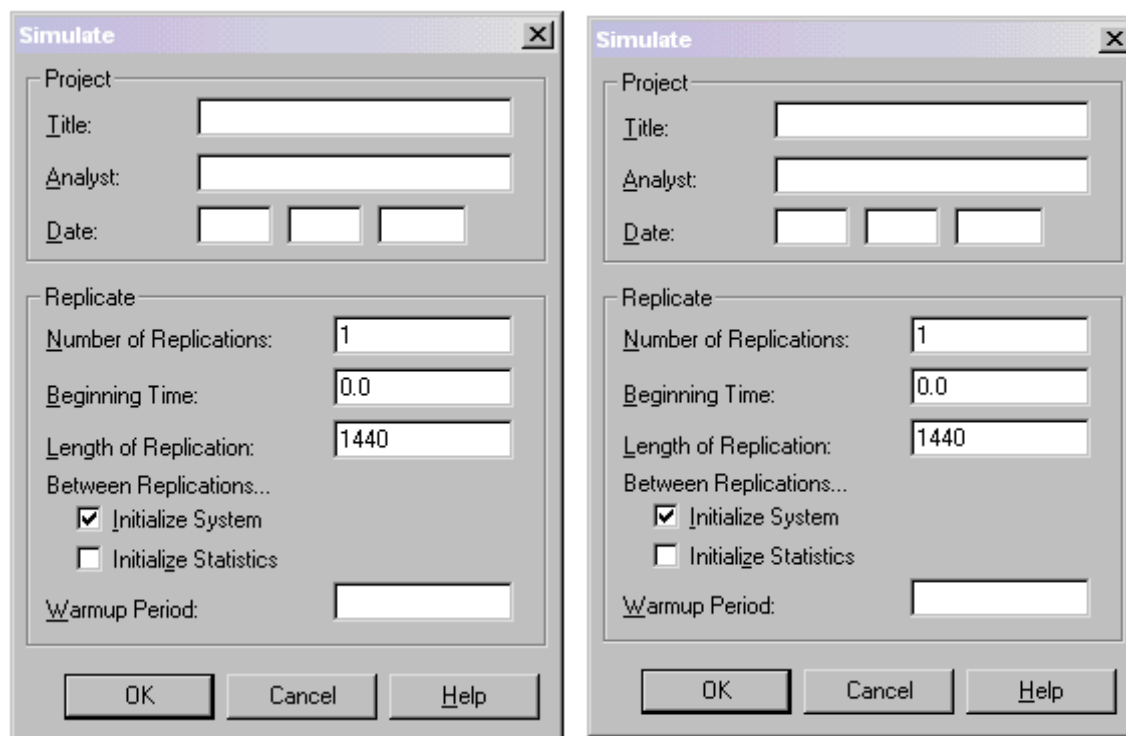
12. Módulo *Sets*

Nesse modulo foi definido os setores e o índice onde será armazenado os pedidos dos referidos setores.



13. Módulo *Simulate*

Nesses módulos são definidos o número e tempo de cada repetição na simulação.



14. Módulos *Distance*

Nesses módulos define-se todas as distâncias dos referidos setores tomando como referência a seus respectivos hospitais.

