



**UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E  
COMPUTAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO**

**DANIEL SOUZA COTRIM**

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA  
AUXÍLIO À ANÁLISE E AO PLANEJAMENTO DE ROTAS  
DE VIATURAS POLICIAIS**

Salvador  
2008

**DANIEL SOUZA COTRIM**

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA  
AUXÍLIO À ANÁLISE E AO PLANEJAMENTO DE ROTAS  
DE VIATURAS POLICIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Salvador,  
como parte das exigências do Curso de Mestrado  
Profissional em Sistemas e Computação, para  
obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Prado de  
Campos

Salvador  
2008

## FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Cotrim, Daniel Souza

Sistema de informação geográfica para auxílio à análise e ao planejamento de rotas de viaturas policiais/Daniel Souza Cotrim . - 2009.

123 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Salvador – UNIFACS.  
Mestrado em Sistemas de Computação, 2009.

Orientador: Prof. Jorge Alberto Prado Campos

1. Sistemas de Informações Geográficas 2. Planejamento de Rotas 3. Policiamento I. Campos, Jorge Alberto Prado, orient. II. Título.

CDD: 005.7

TERMO DE APROVAÇÃO

DANIEL SOUZA COTRIM

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA AUXÍLIO  
À ANÁLISE E AO PLANEJAMENTO DE ROTAS DE  
VIATURAS POLICIAIS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sistemas e Computação, Universidade Salvador – UNIFACS, pela seguinte banca examinadora:

Jorge Alberto Prado de Campos – Orientador \_\_\_\_\_  
Doutor em Spatial Information Science and Engineering, University of Maine at Orono  
Universidade Salvador - UNIFACS

Celso Alberto Saibel Santos \_\_\_\_\_  
Doutor em Informatique Fondamentale et Paralleslime, Université Paul Sabatier de  
Toulouse III  
Universidade Salvador - UNIFACS

Carlos Alberto da Costa Gomes \_\_\_\_\_  
Doutor em Ciências Militares, Escola de Comando e Estado Maior do Exército  
Universidade Salvador - UNIFACS

Savaldor , 22 de Dezembro de 2008

## **AGRADECIMENTOS**

Cada barreira vencida, cada objetivo alcançado percebo o quanto fui amparado por Deus e por minha família, enxergo ainda melhor o quanto as palavras de amor e de incentivo foram importantes para o meu sucesso nessa caminhada e quanto muito há de me ajudar nos momentos difíceis da minha vida.

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me oferecido a oportunidade de desenvolver meu intelecto e minha moral, abrindo as portas para novas conquistas e sabedoria para discernir sobre que caminhos devem ser trilhados, com honradez e retidão. Agradeço por ter uma família tão especial e unida, presente em todos os momentos da minha vida, cerne indispensável e elo de apoio para o enfrentamento desse desafio e de outros que por certo virão.

Das minhas experiências, do meu convívio com os colegas, do ambiente acadêmico e da relação enriquecedora com os nossos mestres, lembranças não de perdurar, tanto para servir de norte para as minhas ações futuras, como valores a serem mantidos no palmilhar de novas experiências na vida profissional. Se de um lado obtive algumas respostas, espero continuar com a mesma inquietação do agora, para mais valorar as perguntas.

Agradeço ao Professor, Orientador e Mestre Jorge Campos, por todo conhecimento, dedicação e paciência. Agradeço aos amigos e companheiros Cayo, Paulo, Rafael e Rodrigo, pelo apoio e incentivo. Agradeço a FAPESB pela bolsa e apoio financeiro para permitir a concretização deste trabalho.

Obrigado a Antônio, Sandra, Gabriela e Iris, pessoas especiais e realmente indispensáveis na minha vida.

## RESUMO

O aumento desordenado da população nos grandes centros urbanos é geralmente acompanhado do aumento da criminalidade. Como consequência, torna-se cada vez mais complexa a tarefa dos órgãos de segurança pública de inibir as ocorrências policiais através do monitoramento de extensas áreas urbanas. Um dos recursos ainda muito utilizado para tentar inibir alguns tipos de ocorrências policiais é o policiamento ostensivo com viaturas. As viaturas, além de realizar um policiamento preventivo, possibilitam um atendimento ágil às ocorrências policiais em andamento. A simples realização de rondas com viaturas, entretanto, não garante o uso eficaz desse recurso. Um dos principais problemas no planejamento das rondas com viaturas para o combate à criminalidade é identificar os horários e os locais mais críticos a serem visitados. O bom planejamento é aquele que garanta que as viaturas, na medida do possível, estarão no lugar certo na hora certa. Nesse contexto, o presente trabalho propõe um Sistema de Informação Geográfica para o auxílio à análise e planejamento de rotas de viaturas policiais. A ferramenta proposta visa apoiar o analista criminal nas tarefas que envolvem a análise da qualidade das rondas executadas e no planejamento de rotas que permitam o emprego racional das viaturas e uma melhor qualidade do policiamento ostensivo.

**Palavras-chave:** Sistemas de Informação Geográfica, Objetos Móveis, Detecção de Padrões, Visualização de Objetos Móveis, Classificação de Rondas Policiais, Segurança Pública.

## ABSTRACT

The population growth in large urban areas is generally followed by an increase of criminal activities. Thus, the task of public safety organizations to inhibit police occurrences through the surveillance of large areas has become more and more complex. A resource still used in attempt to inhibit some kinds of police occurrences is the ostensible police work with vehicles. Vehicles are suitable for preventive police work and for a quick response for on going police occurrences. The simple execution of patrols with vehicles, however, does not guarantee the effectiveness of such resource. One of the major problems of planning patrols with vehicles to fight criminality is to identify critical periods of time and places to visit. The good planning is the one that guarantees that police vehicles will be at the right time at the right place. In this context, this work proposes a Geographical Information System to help the analysis and planning of police car patrols. The proposed tool aims at helping criminal analysts in their tasks of analyzing patrols' quality planning new patrols schedules in order to allow the rational usage of police vehicles and to enhance the quality of the ostensible police work.

**Keywords:** Geographic Information Systems, Moving Objects, Pattern Detection, Visualization of Moving Objects, Classification of Police's Patrol, Public Security.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Formas de Apresentação de Dados sobre as despesas mensais de uma família: Forma de Quadro, b) Gráfico de Linha e c) Gráfico de Pizza. ....	19
Figura 2.2: Métodos visuais em uma seqüência idealizada de pesquisa científica. ....	21
Figura 2.3: Representação da perspectiva de uso do mapa. ....	23
Figura 2.4: Mapa temático que apresenta através de gráficos em pizza os crimes violentos nos Estados Unidos. ....	26
Figura 2.5: Variáveis visuais para representação de pontos, linhas e áreas. ....	29
Figura 2.6: Variáveis visuais associados a cor: a) Tom, b) Valor e c) Saturação. ....	30
Figura 2.7: Mapa que confronta duas variáveis: temperatura e precipitação. São utilizados símbolos que variam de forma e tamanho para representar quantidades. ....	31
Figura 2.8: Relação entre os Níveis de Medida e as Propriedade de Percepção. ....	32
Figura 2.9: Mapa de círculos graduados apresentando o censo criminal em Baltimore, Maryland. ....	33
Figura 2.10: Mapa de Charles Minard ilustrando a marcha do exército de Napoleão para Moscou. ....	36
Figura 2.11: Mapa de Minard reconstruído visando associar a informação da temperatura diretamente no caminho percorrido pela tropa de Napoleão. ....	38
Figura 2.12: Representação tridimensional do tamanho da tropa de Napoleão na campanha russa em 1812. ....	38
Figura 2.13: Apresentação do percurso da tropa Napoleônica na campanha russa de 1812 no cubo espaço-tempo. ....	39
Figura 2.14: Instantes de tempo com a localização da tropa francesa em 24 de Julho e 24 de Agosto de 1812. Fonte: (KRAAK, 2009). ....	40
Figura 2.15: “ <i>Time Window</i> ”, técnica de animação de objetos móveis. ....	42
Figura 3.1: Tipos de apresentação de ocorrências policiais em mapas estáticos: a) mapa de pontos e b) mapa de densidade. ....	46
Figura 3.2: Tipos de apresentação de objetos móveis em mapas estáticos: a) apresentação através de alguns pontos ao longo da trajetória e b) apresentação do caminho percorrido. ....	48
Figura 3.3: Evolução do modelo de representação do movimento de uma viatura em um ambiente urbano utilizando-se mapas estáticos. ....	51
Figura 3.4: Representação em mapas estáticos de eventos criminais: a) apresentação de um único tipo de evento e b) apresentação de vários tipos de eventos. ....	53



Figura 3.5: Histórico de uma viatura e alguns eventos (Lugar Certo, Hora Certa).....	55
Figura 3.6: Histórico de uma viatura e muitos eventos (Lugar Certo, Hora Errada). .....	55
Figura 3.7: Histórico de uma viatura e alguns eventos (Lugar Errado, Hora Certa).....	56
Figura 3.8: Histórico de uma viatura e alguns eventos (Lugar Errado, Hora Errada).....	56
Figura 3.9: Histórico da movimentação de uma viatura e muitos eventos criminais em um longo espaço de tempo. ....	58
Figura 3.10: Sumário descritivo para classificação rotas versus eventos criminais.....	59
Figura 3.11: Ciclo de medição e melhoria da qualidade do policiamento. ....	60
Figura 3.12: Representação do Espaço de Qualidade de policiamento de uma ronda: a) Representação da contribuição de uma ocorrência policial e b) Contribuição de todas as ocorrências policiais e o sumário descritivo qualificador da ronda.....	61
Figura 3.13: Representação de uma ronda e uma ocorrência policial em uma região de interesse .....	62
Figura 3.14: Partição do Espaço de Qualidade do policiamento e localização da classificação das rondas policiais.....	64
Figura 3.15: Mapa e sumário descritivo qualificador de rota para alguns eventos e uma viatura policial. ....	64
Figura 5.1: Duas formas de apresentação de eventos criminais: a) apresentação de dos eventos através de pontos, b) seleção dos clusters. ....	85
Figura 5.2: Aplicação do algoritmo hierárquico: a) classificação dos pontos em três clustes, b) dendrograma obtido a partir do algoritmo hierárquico. ....	86
Figura 5.3: Aplicação do algoritmo Hierárquico ao conjunto de dados bidimensional formado pelas classes (1 e 2) conectados por uma cadeia de ruído: a) <i>Single-Link</i> , b) <i>Complete-Link</i> . 86	
Figura 5.4: Hot Spots (Km. Distance = 1; Minutes Distance = 300; Distance Method=single-link; Time Method=single-link). ....	90
Figura 5.5: Hot Spots (Km. Distance = 1; Minutes Distance = 300; Distance Method=single-link; Time Method=complete-link). ....	91
Figura 5.6: Hot Spots (Km. Distance = 1; Minutes Distance = 300; Distance Method=complete-link; Time Method=complete-link). ....	91
Figura 5.7: Camadas da arquitetura do módulo de planejamento de rotas de viaturas. ....	93
Figura 5.8: Estrutura da solução no UVR. ....	95
Figura 5.9: Ciclo básico da Busca Tabu. ....	96
Figura 5.10: Componente “Centro”, ponto de contato. ....	98
Figura 6.1: Arquitetura da Ferramenta. ....	101

Figura 6.2: Conjunto de processos sistemáticos da Análise Criminal.....	102
Figura 6.3: Módulo de Consulta: a) Parâmetros de busca das Viaturas, b) Parâmetros de Busca dos Eventos Criminais.....	103
Figura 6.4: Busca de acordo com parâmetros especificados. ....	104
Figura 6.5: Módulo de Interação: a) Componente de Zoom, b) Componente de navegação Auxiliar.....	105
Figura 6.6: <i>MapRender</i> .....	106
Figura 6.7: Análise visual das informações do movimento e eventos.....	107
Figura 6.8: Análise automática: representação do Espaço de Qualidade do policiamento. ....	108
Figura 6.9: Parâmetros para formação dos <i>Hot Spots</i> . ....	110
Figura 6.10: Formação dos Clusters. ....	111
Figura 6.11: Parâmetros para o Planejamento das Rotas de Viaturas. ....	112
Figura 6.12: Planejamento das Rotas para atendimento dos pontos quentes. ....	113
Figura 6.13: Qualidade das rotas sugeridas pela ferramenta de Planejamento de Rotas de Viaturas.....	114

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Variáveis visuais e suas propriedades perceptivas (++, bom; + moderado; em branco, ruim) .....	33
Quadro 2: Componentes e variáveis visuais para viaturas .....	49
Quadro 3: Componentes e variáveis visuais para Eventos Criminais .....	52
Quadro 4: Resultados Ótimos obtidos até fevereiro/2005 para instâncias de Solomon do VRPTW. ....	76
Quadro 5: Informações e controles utilizados pelo UVR.....	94
Quadro 6: Componentes da arquitetura .....	97

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 MOTIVAÇÃO	14
1.2 METODOLOGIA	15
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	15
1.4 RESULTADOS RELEVANTES	16
1.5 AUDIÊNCIA	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
<b>2 VISUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
2.1 GEOVISUALIZAÇÃO	20
2.2 GEOVISUALIZAÇÃO EXPLORATÓRIA	22
2.3 MODELAGEM DE MAPAS	23
2.4 VARIÁVEIS VISUAIS	26
2.5 APRESENTAÇÃO DE OBJETOS MÓVEIS	34
2.5.1 Apresentação de Objetos Móveis em Mapas Estáticos	35
2.5.2 Apresentação de Objetos Móveis em Seqüência de Mapas Estáticos	40
2.5.3 Apresentações de Objetos Móveis em Animações	41
<b>3 APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO DE VIATURAS EM MAPAS ESTÁTICOS</b>	<b>44</b>
3.1 APRESENTAÇÃO DO MOVIMENTO DE VIATURAS E OCORRÊNCIAS POLICIAIS	45
3.1.1 Apresentação das Características do Movimento de Viaturas em Mapas Estáticos	49
3.1.2 Apresentação de Ocorrências Policiais em Mapas Estáticos	52
3.2 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DE ROTAS DE VIATURAS	53
3.3 SUMÁRIO DESCRITIVO PARA CLASSIFICAÇÃO DA ROTA VERSUS OCORRENCIAS CRIMINAIS	59
<b>4 PROBLEMA DO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS</b>	<b>66</b>
4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS	66
4.2 VARIAÇÕES CLÁSSICAS DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS	70
4.2.1 Problema do Caixeiro Viajante	70
4.2.2 Problema de Caixeiros Viajantes Múltiplos	70
4.2.3 Problema de Roteamento de Veículos	71
4.2.4 Problema de Roteamento (e Programação) de Veículos com Janelas de Tempo	71

4.3	ESTRATÉGIAS DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VIATURAS	72
4.4	COMPLEXIDADE DO PROBLEMA E ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO	73
4.5	PRINCIPAIS MÉTODOS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM JANELA DE TEMPO	75
4.5.1	<b>Métodos Exatos</b>	<b>75</b>
4.5.2	<b>Métodos Heurísticos</b>	<b>77</b>
4.5.3	<b>Métodos Metaheurísticos</b>	<b>78</b>
5	<b>OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE VIATURAS</b>	<b>82</b>
5.1	DETECÇÃO DE PADRÕES CRIMINAIS	83
5.1.1	<b>Formação dos Clusters</b>	<b>85</b>
5.1.2	<b>Distância e Velocidade</b>	<b>87</b>
5.1.3	<b>Clusters Espaciais e Temporais</b>	<b>88</b>
5.1.4	<b>Prioridade do Policiamento nos Hot Spots</b>	<b>89</b>
5.1.5	<b>Janelas de Tempo e Tempo de Visita</b>	<b>89</b>
5.1.6	<b>Apresentação dos Hot Spots</b>	<b>89</b>
5.2	PLANEJAMENTO DAS ROTAS DE VIATURAS	92
5.2.1	<b>Camada UVR</b>	<b>93</b>
5.2.2	<b>Camada Solucionador</b>	<b>95</b>
5.2.3	<b>Camada Planejamento de Rotas de Viaturas</b>	<b>96</b>
6	<b>ANÁLISE E PLANEJAMENTO DE ROTAS DE VIATURAS POLICIAIS</b>	<b>100</b>
6.1	DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA	100
6.2	ARQUITETURA DA FERRAMENTA	101
6.2.1	<b>Módulo de Consulta</b>	<b>102</b>
6.2.2	<b>Módulo de Interação</b>	<b>104</b>
6.2.3	<b>Módulo de Análise</b>	<b>105</b>
6.2.4	<b>Módulo de Planejamento</b>	<b>108</b>
6.2.4.1	Formação e Apresentação dos Hot Spots	109
6.2.4.2	Planejamento das Rotas de Viaturas	111
7	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sistemas de informações geográficas (SIGs) podem ser conceituados, de forma ampla, como uma ciência, uma tecnologia, uma disciplina ou uma metodologia de solução de problemas cujos objetivos principais exploram os seguintes princípios: descrever, explicar e identificar padrões (LONGLEY et al, 2005). De uma forma mais restrita, SIGs são sistemas computacionais utilizados para representar e analisar fenômenos espaço dependentes. O SIG é um sistema de geração computadorizada de mapas que permite a produção de descrições detalhadas de fenômenos e análises de relação entre variáveis. Neste sentido, qualquer sistema que permita a representação de informações geográficas pode ser classificado com SIG.

Os SIGs são largamente aplicados em diferentes contextos, tais como: investigação científica, administração de recursos, gerenciamento de tarefas, arqueologia, planejamento urbano, cartografia, logística e no mapeamento da criminalidade.

O mapeamento da criminalidade é um componente chave da análise criminal. Esta técnica define os meios para mapear, visualizar e analisar os padrões de ocorrências delituosas em um determinado espaço. O mapeamento criminal, utilizando os recursos do SIG, possibilita o analista identificar os pontos de maior incidência de crimes, tendências e padrões de criminalidade.

O presente trabalho propõe um ambiente SIG para o auxílio à análise e planejamento de rotas de viaturas policiais. O ambiente proposto visa, em uma primeira fase, apoiar o analista criminal na tarefa de detecção de padrões e correlação de tendências oriundas das atividades ilegais e, em uma segunda etapa, sugerir rotas que permitam o emprego racional das viaturas e um maior rendimento do policiamento ostensivo. No contexto da Análise Criminal, a expressão “padrão” corresponde a uma característica da ocorrência de um determinado delito, segundo a qual pelo menos uma variável daquela ocorrência se repete. A “tendência” indica uma propensão quantitativa geral de um fenômeno da segurança pública (DANTAS; SOUZA, 2004).

O modelo de suporte à análise criminal proposto neste trabalho objetiva representar e manipular informações que descrevem as características dos objetos móveis (viaturas) e dos eventos (ocorrências criminais). Essas características são representadas de forma a permitir ao analista criminal inferir a qualidade do policiamento através de viaturas considerando as características do movimento das mesmas e da distribuição espaço-temporal das ocorrências policiais. Em um segundo estágio, o modelo contempla a implementação de técnicas de

roteamento de veículos para auxiliar o planejamento de rondas futuras que atendam o maior número de regiões com alta taxa de criminalidade, visando o menor custo possível.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Em virtude da dinâmica dos fenômenos naturais e sociais, por mais de uma década a comunidade científica de sistemas de informações geográficas tem demonstrado um grande interesse em capturar fenômenos dinâmicos ou que variam com o tempo (LANGRAN, 1992). Alguns trabalhos têm investigado o desenvolvimento de modelos de dados espaço-temporais (PARENT; SPACCAPIETRA, ZIMÁNYI, 1999; PEUQUET; DUAN, 1995; RODDICK; SPILIOPOULOU, 2002), que incluem o tratamento de objetos móveis (PFOSER; JENSEN, 2003) e a visualização de objetos dinâmicos (CAMPOS; EGENHOFER; HORNSBY, 2003).

O crescente volume de dados com atributo espaço-temporal tem desafiado a capacidade dos especialistas de consumir e obter conhecimento (YAO, 2003; HARMS; DEOGUN; GODDARD, 2003). A análise desses dados é um campo da área de Descoberta do Conhecimento que trata da extração de informações não triviais, relações espaço-temporais e outros padrões não armazenados explicitamente na base de dados que tem atraído interesse tanto da academia quanto da indústria (RODDICK; SPILIOPOULOU, 1999). A inclusão de atributos espaciais e temporais, entretanto, adicionou uma complexidade substancial às técnicas tradicionais de mineração visual de dados e descoberta de conhecimento. Dessa forma, a questão da espacialidade e temporalidade dos dados tornou-se um ponto crucial no entendimento dos eventos e processos geográficos.

Os SIGs lidam principalmente com a exploração, análise e apresentação de dados georeferenciados. Os modelos gráficos para a apresentação destes dados, entretanto, têm-se mostrado difíceis de serem utilizados em situações que requerem a análise de um crescente volume de informações que mudam com o passar do tempo (VERBREE et al, 1999).

A análise criminal é uma das áreas largamente dependente dos recursos oriundos dos SIGs que são afetadas pela imensa quantidade de dados espaço-temporais. Mais precisamente, a análise e planejamento de viaturas no policiamento ostensivo refletem uma complexidade crescente gerada pela grande quantidade de eventos criminais abrangendo grandes áreas de patrulha e um crescente número de viaturas. O crescimento das cidades em conjunto com o crescimento da criminalidade dificulta o gerenciamento eficiente das viaturas.

Desta forma, torna-se imprescindível a utilização de técnicas e recursos computacionais existentes nos SIGs para o suporte da análise criminal no que tange a avaliação da qualidade do policiamento realizado e no planejamento de rondas futuras.

## 1.2 METODOLOGIA

A partir da problemática apresentada, realizou-se uma revisão de grande parte literatura pertinente ao tema. Foram estudados os assuntos referentes a Sistemas de Informação Geográfica, geovisualização, semiologia gráfica, representação de objetos móveis, métodos de definição de clusters, problemas de roteamento de veículos, entre outros.

Torna-se conveniente destacar os estudos direcionados à análise criminal, mais precisamente, o policiamento ostensivo através de viaturas no combate a criminalidade. Os objetivos e estratégias principais que definem o gerenciamento desses recursos e as deficiências que dificultam a análise e o planejamento das viaturas foram estudados e desenvolvidos neste trabalho.

A partir dos estudos realizados, procurou-se reunir as dificuldades na representação dos objetos móveis, traçando, assim, os objetivos a alcançar no modelo e superar as deficiências descobertas. As vantagens e desvantagens foram apresentadas junto com os exemplos que conduziram a avaliação do modelo.

Com o intuito de superar as desvantagens detectadas no modelo proposto, foram pesquisados novos meios de representação e métodos que permitissem a representação de grandes quantidades de dados e de técnicas que permitissem a classificação automática da qualidade do policiamento ostensivo através de viaturas.

Com o objetivo de construir um ambiente que permita o planejamento das rotas das viaturas para atender os pontos de concentração de crimes, foram realizados estudos sobre problemas de roteamento de viaturas para atender pontos de concentração de crimes que atenda aos requisitos específicos do contexto criminal.

Por fim, foi desenvolvido um sistema para auxílio à análise e ao planejamento de rotas de viaturas policiais, integrando todas as contribuições realizadas. Para tanto, foi realizado um estudo sobre ferramentas e modelos existentes e, no processo de desenvolvimento, foram adotados padrões de projeto e técnicas de programação orientadas a objetos já consolidados.

## 1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O escopo deste trabalho concentra-se na construção de um ambiente SIG que auxilie o analista criminal nos processos que envolvem a análise e o planejamento de rotas de viaturas policiais. O escopo compõe-se em alguns objetivos apresentados a seguir.

A construção de um modelo de visualização das ocorrências criminais e deslocamentos das viaturas onde os dados sobre as características do movimento são explicitamente apresentados. Este modelo visa facilitar a análise da movimentação das



viaturas e relacionar as características do movimento desses objetivos com a localização e tipificação das ocorrências criminais. A sua construção deve ser fundamentado na Semiologia Gráfica explorando a visão, o canal principal da percepção humana.

Inclui-se, também, no escopo deste trabalho, propor uma ferramenta que sugira rotas para as viaturas que permitam o emprego racional dos recursos e um rendimento maior do policiamento ostensivo. O planejamento das rotas de viaturas visa guiar as viaturas para áreas de maior criminalidade no momento certo do dia.

#### 1.4 RESULTADOS RELEVANTES

O modelo de visualização das ocorrências criminais e movimentação das viaturas em mapas estáticos superou os inconvenientes encontrados em outros modelos. O modelo proposto foi capaz de comunicar as características do movimento das viaturas e das características temporais das ocorrências policiais em um único mapa, ao contrário dos modelos usualmente disponíveis. Como resultado, o comportamento da viatura, isto é, a característica do movimento do veículo, é apresentada de forma explícita, o que permite o entendimento completo do deslocamento. A variação da velocidade e o tempo em que a viatura ficou em repouso estão claros e são apresentados de forma intuitiva. Além disso, o modelo permite relacionar temporalmente os eventos criminais e a trajetória da viatura.

Outro resultado relevante neste trabalho foi a construção de um sumário descritivo para qualificar a interação de uma ronda e as ocorrências policiais. O sumário qualifica de forma automatiza a qualidade das rotas das viaturas em relação ao padrão de ocorrências criminais, apresentando valores que informam se a rota está ou não no lugar certo, na hora certa. O qualificador de rotas permite uma melhor avaliação da qualidade do policiamento mesmo para um volume grande de dados.

Vale salientar outro resultado bastante relevante deste trabalho, a construção de uma ferramenta para auxílio ao planejamento de rotas de viaturas. Esta ferramenta consegue auxiliar o analista criminal a obter um rendimento maior do policiamento e garantir o emprego racional dos recursos. As rotas são sugeridas baseadas no histórico das ocorrências criminais e pontos de maior concentração criminal, detectados pela própria ferramenta.

#### 1.5 AUDIÊNCIA

Este trabalho tem como audiência um público bastante diversificado, pois reúne diversos temas e contribuições nas áreas de sistemas de informações geográficas, tecnologia da informação, representação de objetos móveis, mineração visual de dados, algoritmos

metaheurísticos para problemas de roteamento de veículos, detecção de padrões criminais, análise do crime, planejamento de rotas de viaturas, entre outros.

Desta forma, o público alvo deste trabalho engloba todos os interessados em segurança pública, mecanismos mais eficazes no enfrentamento das questões relativas ao crime e sistemas de informação geográfica.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 2 introduz as bases da visualização em Sistemas de Informação Geográfica e apresenta a Semiologia Gráfica, tema de grande relevância para o presente trabalho. Este capítulo faz uma revisão da literatura das principais formas de representação de objetos móveis.

O capítulo 3 apresenta o modelo proposto de representação das características do movimento de viaturas em mapas estáticos. Neste capítulo são discutidas as vantagens e desvantagens deste modelo para curtos e longos espaços de tempo. Além disso, apresenta-se um sumário descritivo para classificação automática das rotas das viaturas.

O capítulo 4 apresenta a taxonomia dos principais problemas de roteamento de veículos e os principais métodos de solução. Este capítulo mostra como o problema de roteamento de viaturas está classificado neste contexto.

O capítulo 5 apresenta a solução para o problema de roteamento de viaturas no atendimento prioritário a áreas de concentração criminal. Neste capítulo, os critérios e técnicas utilizadas para detecção de áreas de concentração criminal e como essas áreas influenciam na estratégia do planejamento das rotas foram discutidos.

O capítulo 6 apresenta a ferramenta desenvolvida para prova de conceitos das contribuições realizadas. As telas e controles desenvolvidos para permitir a interação com o usuário e configuração dos parâmetros da ferramenta foram demonstrados.

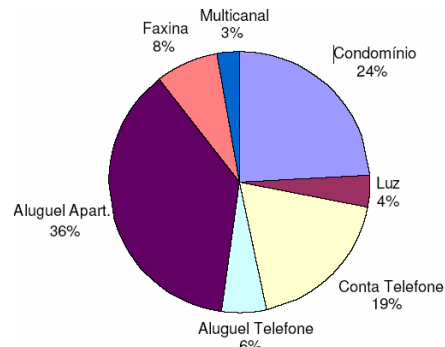
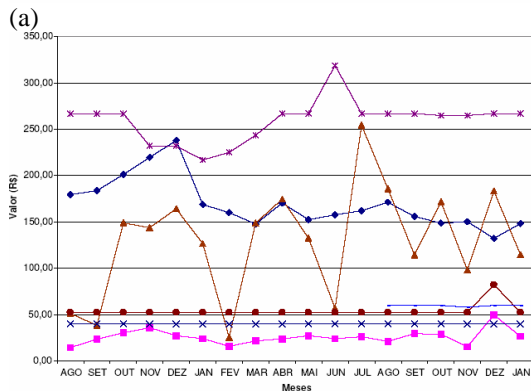
O capítulo 7 apresenta a conclusão do trabalho e discute, de forma ampla, as qualidades e deficiências do trabalho. Este capítulo propõe ainda perspectivas para o prosseguimento deste trabalho.

## 2 VISUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O termo visualização significa mais do que uma simples representação gráfica de dados ou conceitos. Visualização pode ser entendida como a construção mental de uma imagem visual. Esta imagem, por sua vez, funciona como uma ferramenta cognitiva, um artifício externo na construção do conhecimento, que necessita das capacidades perceptivas e cognitivas do observador.

A mente humana possui capacidades limitadas na compreensão de dados não representados através de recursos visuais. Considere, por exemplo, a evolução mensal dos diversos itens que compõem os gastos típicos de uma família (NASCIMENTO; FERREIRA, 2006). A visualização desses dados pode ser apresentada na forma de um quadro, onde as linhas representam os meses e as colunas os diversos tipos de despesas (Figura 2.1.a). Embora a apresentação na forma de quadro seja facilmente compreendida por uma pessoa comum, esta apresentação não evidencia nenhuma ordem entre os campos (por exemplo, qual a despesa mais significativa no orçamento) ou a percepção da tendência na evolução das despesas (por exemplo, quais despesas estão aumentando). De forma a evidenciar determinadas características dos dados, faz-se necessário o uso de técnicas de visualização que explorem a capacidade cognitiva do ser humano de assimilar e processar símbolos e outros recursos visuais. Considere, por exemplo, que se deseja comunicar a evolução de cada despesa de forma a facilitar a identificação da tendência de cada gasto ao longo de um período. Uma possibilidade seria a utilização de um gráfico de linha (gastos x período) para cada tipo de despesa (Figura 2.1.b). Este gráfico permite também que se estabeleça uma ordem entre os diversos tipos de despesas. O gráfico de linha, entretanto, não é uma forma eficiente de apresentação quando o que se planeja é transmitir o peso de cada despesa no orçamento familiar. Para este tipo de comunicação, o importante não é a visualização da evolução dos gastos ao longo de um período, mas sim, o sumário dos gastos ao longo do período ou somente os gastos no último mês. Para comunicar este tipo de informação, um mecanismo bastante usual é a apresentação na forma de gráfico de pizza (Figura 2.1.c). No gráfico de pizza percebe-se facilmente a contribuição de cada tipo de despesa no orçamento familiar.

	Condominio	Luz	Conta Telefone	Aluguel Telefone	Aluguel Apartamento	Faxina	Multicanal	Total
AGO	179,61	14,58	51,40	40,00	267,08	52,40		605,07
SET	183,81	23,50	38,35	40,00	267,08	52,40		605,14
OUT	201,21	30,24	149,00	40,00	267,08	52,40		739,93
NOV	219,73	35,94	143,95	40,00	232,08	52,40		724,10
DEZ	238,10	27,30	164,10	40,00	232,08	52,40		753,98
JAN	168,90	24,19	126,68	40,00	217,08	52,40		629,25
FEV	160,10	15,89	25,49	40,00	225,00	52,40		518,88
MAR	148,00	21,60	148,88	40,00	243,55	52,40		654,43
ABR	170,35	23,84	174,76	40,00	267,08	52,40		728,43
MAI	152,55	27,13	132,51	40,00	267,08	52,40		671,67
JUN	157,70	24,19	56,90	40,00	319,00	52,40		650,19
JUL	162,25	26,09	254,52	40,00	267,08	52,40		802,34
AGO	171,25	21,25	185,74	40,00	267,08	52,40	59,90	797,62
SET	155,85	29,55	114,42	40,00	267,08	52,40	59,90	719,20
OUT	148,90	28,68	171,74	40,00	265,00	52,40	59,90	766,62
NOV	150,35	15,38	98,16	40,00	265,00	52,40	57,90	679,19
DEZ	132,20	49,77	183,39	40,00	267,08	82,40	59,90	814,74
JAN	148,32	26,44	114,57	40,00	267,08	52,40	59,90	708,71



(b)

(c)

Figura 2.1: Formas de Apresentação de Dados sobre as despesas mensais de uma família: Forma de Quadro, b) Gráfico de Linha e c) Gráfico de Pizza. Fonte: (NASCIMENTO; FERREIRA, 2005).

No exemplo apresentado, pode-se perceber que as técnicas de visualização permitem novas inferências, construções de hipóteses e correlações entre as informações apresentadas. Ou seja, a visualização explora o canal principal da percepção humana, ampliando o entendimento sobre os dados analisados. Alguns pesquisadores estão ativamente explorando outras formas de apresentação explorando estímulos acústicos e táteis, mas a maioria admite, entretanto, que a visão ainda é o maior canal da percepção humana (ANDRIENKO; ANDRIENKO, 2006).

Desta forma, a criação de novos meios para a apresentação visual deve analisar os meios e as formas de representação e percepção, aliando os princípios das representações gráficas aos fundamentos da psicologia cognitiva. Arnheim (1997) argumenta que a percepção não apenas provê subsídios para o pensamento, mas que percepção e pensamento são inseparáveis.

“(…) o conjunto das operações cognitivas chamadas pensamento não são um privilégio das operações mentais localizadas acima e para além da percepção, mas sim ingredientes essenciais da própria percepção (...) não vejo como eliminar a palavra 'pensar' do que ocorre na percepção. Não parece existir nenhum processo do pensar que, ao menos em princípio, não opere na percepção.” (ARNHEIM, 1997).

Assim, a visualização de informações é um importante meio para a exploração de dados geográficos, tendo em vista que provê material para a percepção e, deste modo, permite a compreensão de características relevantes ao objeto de estudo.

## 2.1 GEOVISUALIZAÇÃO

A Ciência de Informação Geográfica é a teoria por trás do desenvolvimento, uso e aplicação dos SIGs. Esta ciência emergente deriva intensamente dos ricos avanços históricos da cartografia - estudo e prática milenar utilizada na construção de mapas para a apresentação de informações espaciais e temporais. A visualização geográfica (Geographic Visualization - GVis), parte integrante desta ciência, está intimamente ligada à cartografia e à utilização de recursos computacionais no desenvolvimento de teorias, ferramentas e métodos para a visualização de dados espaciais. Outrossim, a visualização geográfica inclui o entendimento de como as ferramentas e os métodos são utilizados para a formulação de hipóteses, a identificação de padrões e a construção de conhecimento, facilitando a tomada de decisões.

Estudos orientados ao avanço da visualização geográfica investigam a importância do desenvolvimento de mapas que facilitam a compreensão e a comunicação de fenômenos espaciais, incluindo variados tipos de contextos e proposições. Neste sentido, os mapas, como objeto de estudo da visualização geográfica, são representações holísticas da realidade espacial, funcionando como uma abstração intelectual da realidade. O mapa pode ser comunicado, modelado e codificado de forma que explore as capacidades humanas de processamento espacial (VISVALINGAM, 1989).

Analisada por uma perspectiva mais abrangente, visualização geográfica provê teorias, métodos e ferramentas para a exploração visual, análise, síntese, e apresentação de dados que contêm informações geográficas (MACEACHREN; KRAAK, 2001).

A visualização de dados geográficos, como instrumento indispensável na construção do conhecimento científico, é desenvolvida em uma seqüência de quatro etapas (DIBIASE, 1990):

1. exploração dos dados na construção de hipóteses;
2. confirmação das hipóteses e relações encontradas;
3. síntese ou generalização dos achados;
4. formatação do conhecimento para apresentação dos resultado.

O processo de concepção visual começa, tipicamente, em um domínio privado, onde o especialista, e apenas este, está intimamente familiarizado com o problema (Figura 2.2).

Durante o amadurecimento e desenvolvimento da pesquisa, as informações inerentes ao seu estudo são gradualmente comunicadas a outros pesquisadores e interessados. Finalmente, a pesquisa é difundida ao domínio público.

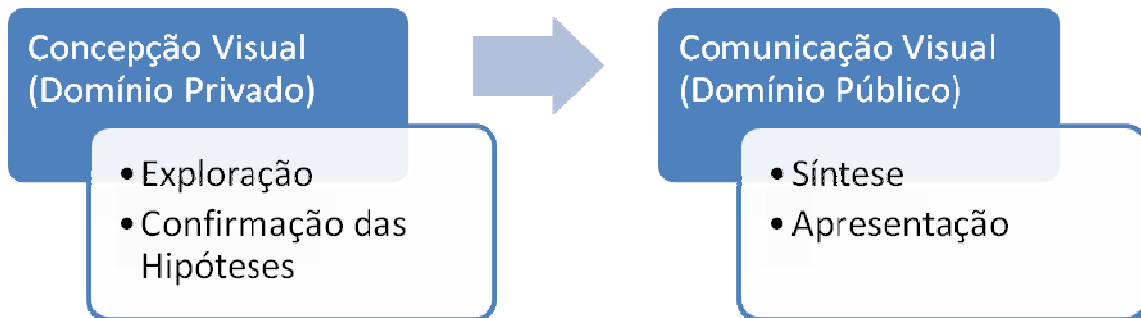


Figura 2.2: Métodos visuais em uma seqüência idealizada de pesquisa científica. Fonte: Elaboração do autor (2008).

A concepção visual é utilizada quando a intenção é produzir conhecimento e envolve o processo de criar e interpretar representações gráficas. Durante a concepção visual, o mapa é utilizado para gerar idéias e hipóteses sobre o problema que está sendo investigado. Analisando um mapa, por exemplo, pode-se identificar relações entre as características apresentadas que poderiam ser imperceptíveis quando analisadas por métodos diversos que não exploram a capacidade cognitiva da percepção visual.

A concepção visual explora dois tipos de relações entre os fenômenos em estudo, as relações verticais e horizontais. As relações verticais definem conexões entre diferentes fenômenos, como: crimes, utilização de terras e demografia; são fenômenos que estão conceitualmente dissociados, mas, quando analisados em conjunto, é possível identificar a interligação de características comuns. As relações horizontais, de maneira distinta, ocorrem quando se reconhece um fator comum entre ocorrências diferentes do mesmo fenômeno; diversas instâncias do mesmo fenômeno e uma característica comum entre as instâncias.

A comunicação visual, por outro lado, é aplicada na distribuição do conhecimento e utiliza as vantagens da percepção visual de forma objetiva. Quando move-se da concepção visual para a comunicação visual, passa-se do domínio privado para as atividades públicas de síntese e apresentação, o que implica combinar diversos tipos de informações em um produto final coerente. As atividades de apresentação são, desta forma, responsáveis por organizar as peças do conhecimento concebendo um produto final que apresente o conteúdo desejado.

## 2.2 GEOVISUALIZAÇÃO EXPLORATÓRIA

A cartografia foi revolucionada com o advento e a popularização dos computadores. Uma das contribuições largamente reconhecidas nesta área foi o desenvolvimento da Análise Exploratória de Dados (Exploratory Data Analysis - EDA), termo originalmente descrito por Turkey (1997). O principal objetivo da EDA é melhorar o entendimento sobre a informação, explorando relacionamentos, padrões e tendências ocultas, ajudando a formular hipóteses que podem ser testadas posteriormente através de métodos estatísticos (NIST, 2001).

A extensão das técnicas e métodos da EDA na solução de problemas, geração de hipóteses e construção de conhecimento baseada na análise de dados espaciais, deu origem ao ramo da Análise Exploratória de Dados Espaciais (Exploratory Spatial Data Analysis - ESDA).

A maioria das técnicas desenvolvidas pelo ESDA é baseada em geovisualização, através de apresentações gráficas em mapas, tendo como foco a exploração e a descoberta de características e relacionamentos não triviais. A utilização dessas técnicas fornece ao especialista um poder de exploração e entendimento sem precedentes, pois revela informações e padrões antes ocultos, escondidos na apresentação.

Buscando promover os estudos sobre geovisualização, em geral, e ESDA, em particular, a Associação Cartográfica Internacional (ICA, 2009) criou em 1995 a Comissão de Visualização e Ambientes Virtuais (Commission on Visualization and Virtual Environments). Um dos primeiros trabalhos da comissão estabeleceu um espaço tridimensional denominado cartografia ao cubo ou **(Cartografia)<sup>3</sup>** (MACEACHREN, 1994c; MACEACHREN; KRAAK, 1997). Esse espaço é utilizado para classificar as aplicações ESDA sob a perspectiva do seu uso, audiência e nível de interatividade.

O espaço da **(Cartografia)<sup>3</sup>** é formado por três vetores ortogonais (Figura 2.3) representando diferentes categorias de usuários (privado versus público), diferentes propósitos de uso (revelar o desconhecido versus apresentar o conhecido) e diferentes graus de interação com a informação (alta interação versus baixa interação homem-mapa). A posição no cubo depende do objetivo de utilização do mapa.

A **(Cartografia)<sup>3</sup>** estende o modelo de DiBiase et al. (1992). Neste espaço a visualização exploratória é considerada complementar da comunicação e não mais entidades opostas e bem definidas. O uso de mapas, na **(Cartografia)<sup>3</sup>**, envolve tanto a concepção visual quanto a comunicação. O propósito da sua utilização, entretanto, pode determinar

consideravelmente as atividades enfatizadas, isto é, a posição no modelo dependerá do objetivo do mapa e das abordagens utilizadas para alcançar o seu objetivo.

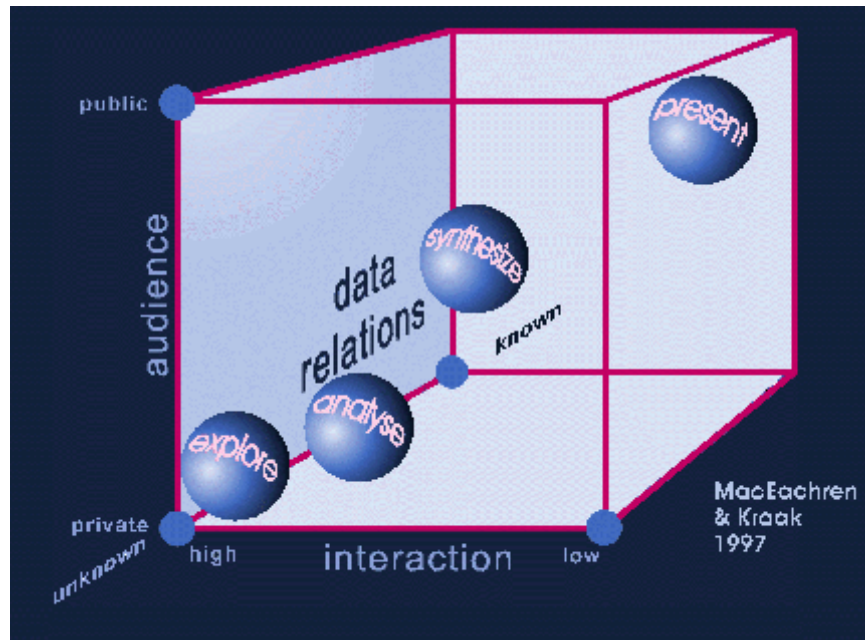


Figura 2.3: Representação da perspectiva de uso do mapa. Fonte: (DIBIASE et al, 1992).

Não obstante a posição dos ambientes de geovisualização exploratória no espaço *(Cartografia)*<sup>2</sup>, esses ambientes fazem uso intensivo de mapas para estimular a cognição visual sobre padrões espaciais, relacionamentos e tendências. Para melhor alcançar este objetivo é importante visualizar a informação de diferentes formas e ângulos. Neste sentido, métodos alternativos de visualização tendem a trazer melhores resultados, pois não estão presos aos métodos tradicionais, fornecendo uma visão nova, atualizada e criativa dos dados (KELLER; KELLER, 1992; KRAAK, 2003a).

Os conceitos e técnicas da ESDA são fundamentais para o presente trabalho na medida em que formam a base teórica para o desenvolvimento de novos modelos visuais. O estudo destes conceitos implica na correta aplicação da cartografia e dos métodos de exploração visual. As próximas seções apresentam alguns dos principais conceitos utilizados neste trabalho.

### 2.3 MODELAGEM DE MAPAS

A modelagem de mapas é um processo criativo que tem como objetivos principais compartilhar informações, revelar padrões e processos e ilustrar resultados. O objetivo



secundário, da modelagem, é criar uma imagem interessante e agradável; este objetivo é subordinado ao primeiro, já que para ser alcançado não deve ferir os objetivos principais.

A modelagem de mapas não é uma tarefa trivial, para alcançar o objetivo esperado é necessário aprimorar as diversas variáveis e harmonizar os métodos utilizados. É difícil definir com exatidão quais são as características de uma boa modelagem. É consenso entre os especialistas, entretanto, que uma boa modelagem é aquela que é simples, elegante e, principalmente, alcança o propósito desejado.

De forma geral, o processo de modelagem de mapas leva em consideração sete critérios bem definidos, propósito, realidade, dados disponíveis, escala do mapa, público alvo, condições de uso e limites técnicos, definidos a seguir (ROBINSON; MORRISON; GUPTILL, 1995):

- a) propósito: o propósito que orienta a modelagem do mapa determinará como as informações serão organizadas e retratadas. Mapas de base ou referência, por exemplo, possuem propósitos diversos e com diferentes finalidades. Esses mapas devem utilizar símbolos que possuam significados amplamente conhecidos pelo usuário. Mapas com fronteiras de países, estados e municípios são exemplos de mapas de base. Mapas temáticos, por outro lado, são utilizados para transmitir informações mais específicas. Estes mapas são, geralmente, voltados para um grupo restrito de usuários. Essa característica permite que sejam utilizados símbolos não compreendidos universalmente, mas eficientes para comunicar determinada informação;
- b) realidade: o fenômeno que está sendo representado define, na sua maioria, requisitos à modelagem de mapas;
- c) dados disponíveis: as características específicas dos dados afetarão a modelagem. Dados orientados a pixel ou vetoriais; discretos ou contínuos; pontos, linhas ou regiões; influenciam na forma de apresentação. As variáveis visuais, assunto tratado posteriormente, possuem uma relação estreita com este item, pois relaciona os diversos tipos de dados e os símbolos adequados para sua representação;
- d) escala do mapa: a escala é um conceito simples, mas com grande impacto na apresentação. A escala estabelece uma relação entre as medidas feitas nos mapas e as dimensões encontradas no mundo real. A escala pode influenciar, por exemplo, na quantidade de informação no mapa, no tamanho dos símbolos ou na sobreposição desses símbolos;

- e) público alvo: diferentes públicos carecem de diferentes tipos de informação, de diferentes formas de organização e consomem a informação de modos distintos;
- f) condições de uso: o ambiente onde o mapa será utilizado impõe restrições significativas. Mapas desenvolvidos para uso em campo serão desenvolvidos diferentemente de mapas cuja utilização não requer níveis de iluminação diferenciados;
- g) limites técnicos: a mídia de visualização, sendo ela digital ou impressa, impacta o processo de modelagem em múltiplas formas. Por exemplo, mapas acessados pela Internet cuja resolução e largura de banda são limitadas devem ser mais simples e utilizar uma quantidade menor de dados, diferentemente dos mapas acessados através de conexão com grande largura de banda.

De forma a discutir a utilização de alguns dos critérios mencionados na modelagem de mapas, considere o mapa temático com a distribuição de crimes violentos nos Estados Unidos (Figura 2.4).

Nos Estados Unidos os crimes são divididos basicamente em duas categorias básicas: crimes violentos e crimes contra a propriedade. Cada categoria é, por sua vez, subdividida em classificações, que, no caso dos crimes violentos são: assassinato, estupro forçado, agressão em circunstâncias agravantes e roubo. O propósito do mapa em questão é apresentar um sumário das categorias de crimes violentos, considerando a flutuação (variação dos dados em um período específico de tempo) e sua distribuição espacial (que neste caso contempla a divisão dos dados por estados).

Embora a dimensão espacial apresentada seja relativamente grande (todo o país), o propósito do mapa é bem definido, isto é, apresenta apenas informações relativas a crimes violentos. Desta forma, a escolha da simbologia foi bastante influenciada pelo propósito do mapa e o tipo de dado disponível. Neste exemplo, a utilização do gráfico de pizza mostrou-se adequada, pois comunica com exatidão o quanto cada tipo de crime violento contribui para o total.

Para expor a flutuação dos dados, isto é, o aumento ou a diminuição dos crimes violentos, o mecanismo utilizado foi o tamanho do gráfico de pizza, ou seja, quanto maior o gráfico maior a variação. A cor, neste caso, foi utilizada para comunicar o sentido da alteração, isto é, a cor vermelha é utilizada para indicar o aumento do número de casos e a cor azul para indicar a redução do número de casos.

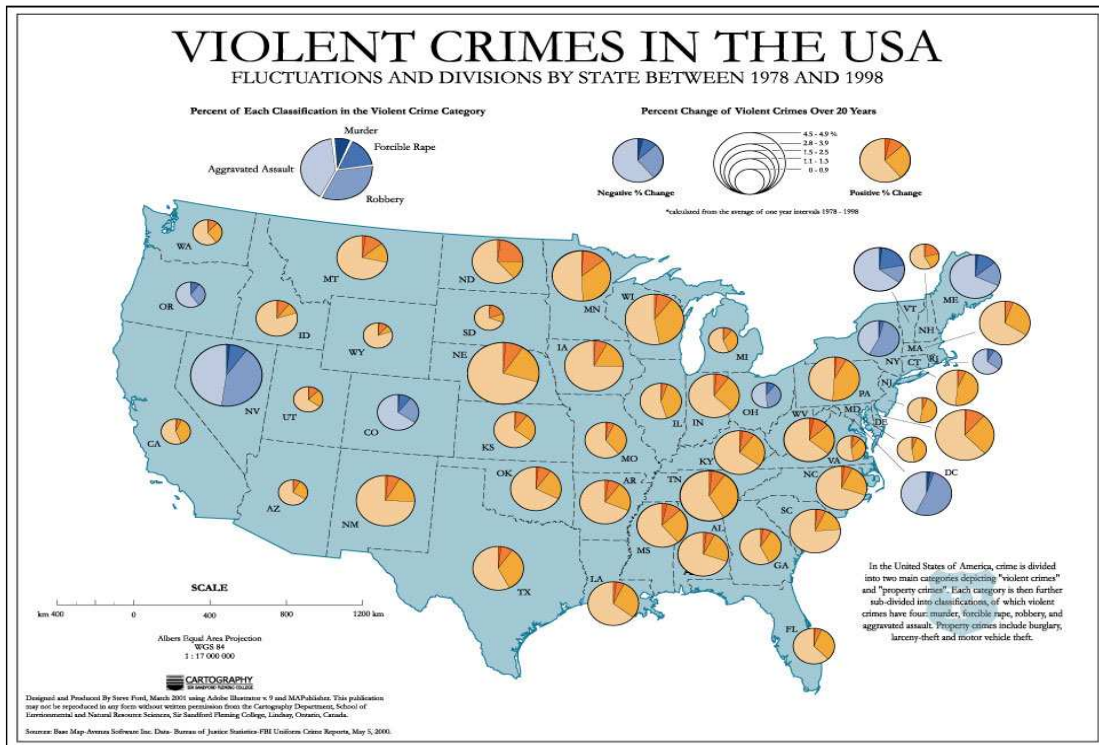


Figura 2.4: Mapa temático que apresenta através de gráficos em pizza os crimes violentos nos Estados Unidos. Fonte: (CONTEXT, 2009).

Nota-se, também, que a escala escolhida para o mapa e para os símbolos foi um julgamento importante. Se o tamanho dos objetos fosse muito pequeno, por exemplo, os usuários teriam dificuldade em extrair conhecimento do mapa. Da mesma forma, um mapa demasiadamente grande atrapalharia a construção de relações espaciais entre objetos distantes.

Conclui-se que a chave para alcançar uma boa apresentação passa pela utilização coerente dos critérios de modelagem e pela composição dos elementos de forma a garantir uma apresentação balanceada e agradável. Somente utilização dos critérios de modelagem e o bom senso do produtor de mapas, entretanto, não são suficientes para garantir um produto final aceitável. Os dados a serem apresentados no mapa devem ser classificados e representados utilizando-se convenções aceitas e bem definidas. A utilização adequada e objetiva de símbolos gráficos é crítico para alcançar o propósito do mapa. Neste sentido, faz-se necessário o entendimento das variáveis visuais, apresentadas a seguir.

## 2.4 VARIÁVEIS VISUAIS

Selecionar os símbolos gráficos apropriados para apresentar a informação é, talvez, um dos maiores desafios para a geovisualização. Sistemas de software e hardware modernos de visualização provêm uma abundante variedade de opções para simbolização geográfica.

Entretanto, pouco é dito sobre como utilizar esses recursos com diferentes tipos de dados (DIBIASE et al, 1992).

Os símbolos utilizados por cartógrafos e geógrafos representam vários tipos de fenômenos geográficos envolvendo localização, distância, volume, movimento, função, processo, correlação, entre outras. Esses fenômenos podem ser representados por três primitivas gráficas principais:

- a) **ponto** (informação não dimensional): símbolo que representa uma função geográfica ou evento caracterizado através da localização e de atributos. A sua localização pode ser representada pelo par (x,y) de coordenadas;
- b) **linha** (informação unidimensional): representa uma função geográfica caracterizada por uma dimensão linear. Pode ser usada para representar estradas e rios;
- c) **área** (informação bidimensional): símbolo que representa uma função geográfica caracterizado por uma superfície fechada ou um polígono. Um lago ou uma cidade são exemplos desta primitiva.

Além da geometria utilizada na representação do fenômeno geográfico, é necessário também caracterizar a natureza das medidas utilizadas para expressar o fenômeno. A natureza das medidas pode ser dividida em nominal, ordinal, intervalo e razão.

Medidas nominais servem para identificar ou distinguir uma entidade da outra. Nome de lugares, código de endereçamento postal e o número do CPF são exemplos de medidas nominais.

As medidas ordinárias são representadas por valores que possuem uma ordem natural. Um exemplo de medida ordinal seria uma classificação da qualidade de um determinado solo (1 = Excelente, 2 = Bom, 3 = Médio, etc.).

Embora as medidas nominais e ordinais possam ser representadas por números, não faz o menor sentido aplicar operações aritméticas sobre estes valores ou calcular o valor da média, por exemplo.

As medidas são ditas de intervalo ou razão se a diferença entre valores de intervalo ou a diferença entre valores de razão exprimir algum significado. Um exemplo de medida intervalar é a temperatura. Faz sentido comparar dois valores de temperatura e associar um significado a diferença entre esses valores. Contudo, não se pode dizer que algo a 20 graus é duas vezes mais quente que algo a 10 graus. Este tipo de inferência só se aplica às medidas do tipo razão. O peso é um bom exemplo de uma medida do tipo razão.

A representação do fenômeno geográfico (ponto, linha e polígono) e o tipo de atributo associado (nominal, ordinal, intervalo e razão) fornecem a base para a construção de mapas. Essas informações, entretanto, não são suficientes para a modelagem de mapas que sejam eficazes na comunicação da informação. É importante utilizar também símbolos que sejam facilmente compreendidos pelo usuário e traduzam a natureza do dado que se deseja apresentar.

Bertin (1983), no seu trabalho intitulado *Semiologia Gráfica*, foi o primeiro pesquisador a propor formalmente um conjunto de variáveis visuais com o intuito de auxiliar a construção de representações de sinais em mapas. Este trabalho, resultado dos estudos sobre a Teoria Geral dos Signos, aborda o processo de tratamento gráfico da informação e o estudo das propriedades da percepção humana, objetivando a eficácia na comunicação entre o produto cartográfico e o usuário.

A *Semiologia Gráfica* estuda a forma de comunicar significados ao nível monossêmico e racional da percepção humana. O estudo de Bertin identificou que a percepção visual é fortemente influenciada pela variação dos sinais e as dimensões do espaço plano. Neste contexto, Bertin identificou sete variáveis visuais fundamentais: posição no plano (localização X-Y), tamanho, valor (cor), textura, cor (tons de cor), orientação e forma (BERTIN, 1983).

MacEachren (1994c) ampliou os estudos de Bertin sobre percepção visual e introduziu mais duas variáveis: saturação e arranjo. Além disso, MacEachren relacionou as variáveis visuais com as primitivas gráficas dos mapas bidimensionais adaptando o conceito associado às diversas variáveis para cada primitiva gráfica (Figura 2.5).

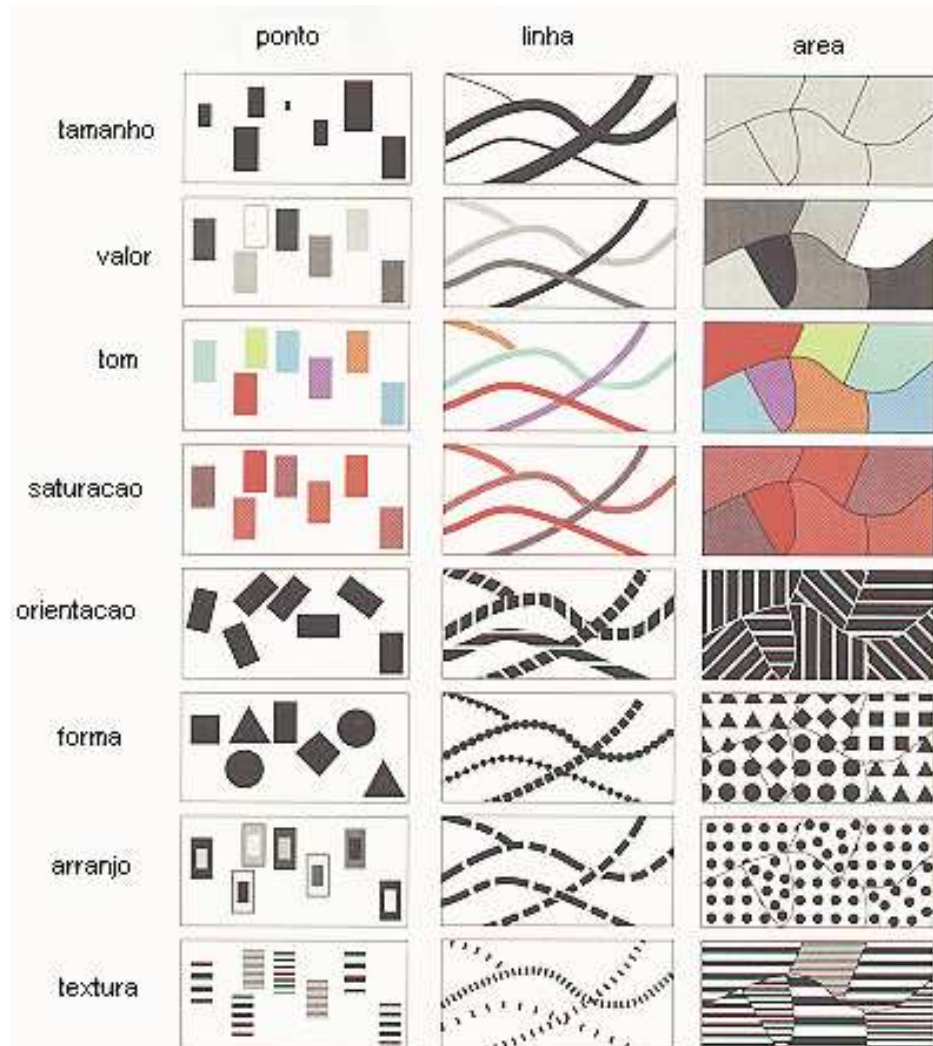


Figura 2.5: Variáveis visuais para representação de pontos, linhas e áreas. Fonte: (MACEACHREN, 1994c)

A descrição das principais variáveis visuais é apresentada a seguir:

- a) posição (x,y): a posição aplica-se a todos os elementos representados e refere-se à localização dos símbolos no gráfico. Esta variável visual é geralmente utilizada em conjunto com outras variáveis;
- b) tamanho: diz respeito à dimensão dos símbolos, quando se tratar de elementos pontuais ou áreas, ou da espessura quando se tratar de linhas;
- c) valor (Hue value): definida como a variação da tonalidade da cor, de claro a escuro. A variável visual “valor” é necessária para especificar a cor de forma completa;
- d) tom de Cor ou Cor: define a cor. Está associado ao comprimento de onda no espectro magnético. Por exemplo, usar azul, vermelho e verde é usar a variável visual “cor”. O uso do azul-claro, azul médio e azul escuro corresponde à variável “valor”;
- e) orientação: diz respeito à direção em que os símbolos são colocados. Ex. orientação vertical, horizontal ou oblíqua;

- f) forma: a variável forma diz respeito ao símbolo usado e não à entidade a representar, isto é, a forma de uma área não pode ser alterada, mas pode ser preenchida por símbolos com diferentes características geométricas;
- g) textura: definida como a frequência espacial dos componentes de um padrão. Remete a percepção tátil.

As variáveis tom, valor e saturação possuem uma grande importância neste trabalho, desta forma, justifica-se uma discussão mais detalhada sobre essas variáveis.

O tom de cor é a característica principal para distinguir uma cor da outra (Figura 2.6.a). Tom de cor é um atributo associado ao comprimento de onda dominante em uma mistura de cores. Assim, o tom representa a cor dominante percebida por um observador. Quando se denomina um objeto de vermelho, azul ou amarelo, por exemplo, se especifica o seu tom de cor. A cor, apesar de poder ser utilizada para representar uma ordem - baseado na ordem do espectro magnético -, é melhor empregada para distinguir diferenças nominais.

A luminosidade ou valor indica a quantidade de branco inserida em cada tom (Figura 2.6.b). Ao contrário da cor, o valor comunica uma noção de ordenação, o que torna interessante sua utilização para representar dados ordinais. A saturação, variável visual concebida posteriormente, refere-se à pureza relativa, ou a quantidade de cinza misturada à cor (Figura 2.6.c). Quanto mais saturada a cor, menor a presença de cinza. Esta variável geralmente não é utilizada de forma isolada, porém quando combinada com valor ou tom, pode melhorar a percepção de ordem e aumentar o número de classes perceptíveis em um mapa.

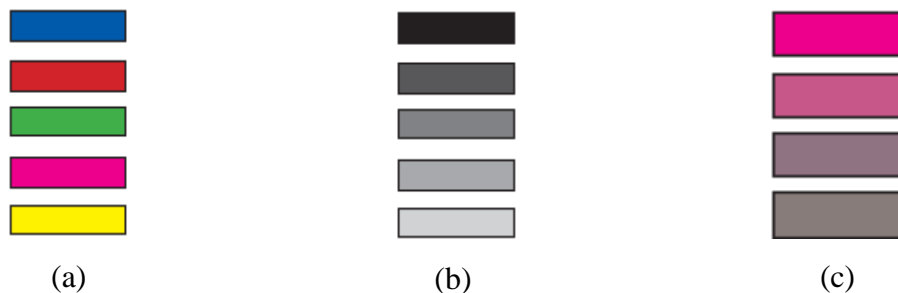


Figura 2.6: Variáveis visuais associados a cor: a) Tom, b) Valor e c) Saturação. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Conhecer e distinguir as características de cada variável visual ajuda o cartógrafo a construir mapas que atendam aos objetivos de comunicação e transmitam as características dos dados (LOCH, 2006). Neste sentido, é necessário determinar as propriedades perceptivas

que podem ser extraídas das variáveis visuais. As propriedades perceptivas são as possibilidades de percepção que cada variável possui e que traduzem adequadamente as relações fundamentais estabelecidas entre os objetos representados. Usualmente, é possível distinguir quatro propriedades perceptivas: associativa, seletiva, ordenada e quantitativa.

Uma variável visual é dita associativa quando os dados por ela representados têm importância idêntica, isto é, podem ser agrupados visualmente. A associatividade existe quando as variações de determinada variável podem ser ignoradas, permitindo que os elementos representados por esta variável visual formem um grupo. Considere, por exemplo, um mapa que apresenta duas variáveis (Temperatura versus Precipitação) através de símbolos que variam de forma e tamanho (Figura 2.7). A variável visual forma é considerada associativa, ao contrário da variável visual tamanho, classificada como não associativa. Analisando a figura, é mais fácil agrupar visualmente símbolos de diferentes tamanhos, mas de forma idêntica, em contraposição com símbolos de mesmo tamanho e formas distintas. Pode-se perceber o princípio associativo quando diferentes níveis de uma variável visual particular retêm similaridade suficiente que podem ser agrupadas visualmente, independente de sua proximidade espacial.

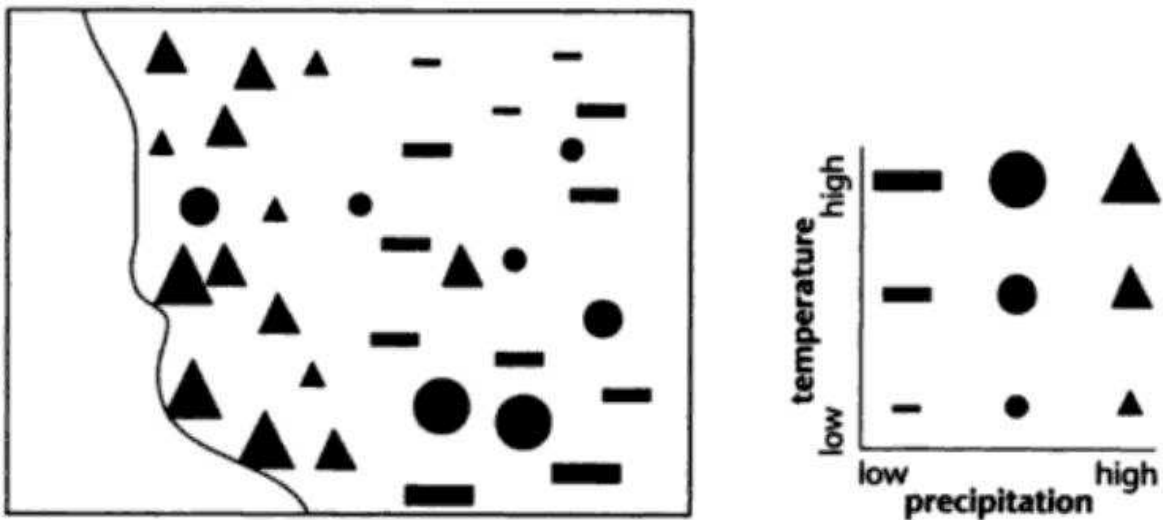


Figura 2.7: Mapa que confronta duas variáveis: temperatura e precipitação. São utilizados símbolos que variam de forma e tamanho para representar quantidades. Fonte: (LOCH, 2006)

A seletividade se refere à importância espacial das variáveis. Em um mapa, por exemplo, percebe-se mais facilmente uma localização particular do que uma forma particular. Desta forma, a seletividade é utilizada para obter uma resposta para a seguinte pergunta:



“Onde está determinada categoria?”. O princípio associativo considera um elemento visual em particular, enquanto, o princípio seletivo considera uma localização em particular.

Uma variável visual é dita ordenada quando se percebe uma seqüência natural nos dados apresentados. Ordenação diz respeito à natureza de medida ordinal, apresentada anteriormente. Por exemplo, diversos tons de cinza (valor), indo do mais claro ao mais escuro, podem ser percebidos como uma seqüência. Finalmente, o princípio quantitativo remete às naturezas intervalo e razão. Estes tipos de variáveis permitem uma percepção quantitativa e representam dados que possuem valores numéricos.

Cada variável possui uma ou mais propriedades perceptivas. Conclui-se, portanto, que existem variáveis que melhor se adéquam a representação de determinado significado, ou seja, quando o interesse é evidenciar característica associativa existem variáveis que exprimem mais eficazmente este significado. Por outro lado, existem formas de representação que não comunicam determinadas propriedades perceptivas. Por exemplo, o uso do arranjo não é capaz de traduzir o caráter quantitativo de uma representação, pois não existe relação natural entre arranjo e quantidade na mente do leitor de um mapa. Uma associação deste tipo seria alcançada mediante a aplicação da variável visual tamanho, por exemplo.

Pode-se fazer um paralelo entre a natureza das medidas, apresentadas no início do capítulo, e as propriedades perceptivas das variáveis visuais (Figura 2.8). Esta relação estabelece um elo entre o atributo inato ao dado e o significado visual desejado.

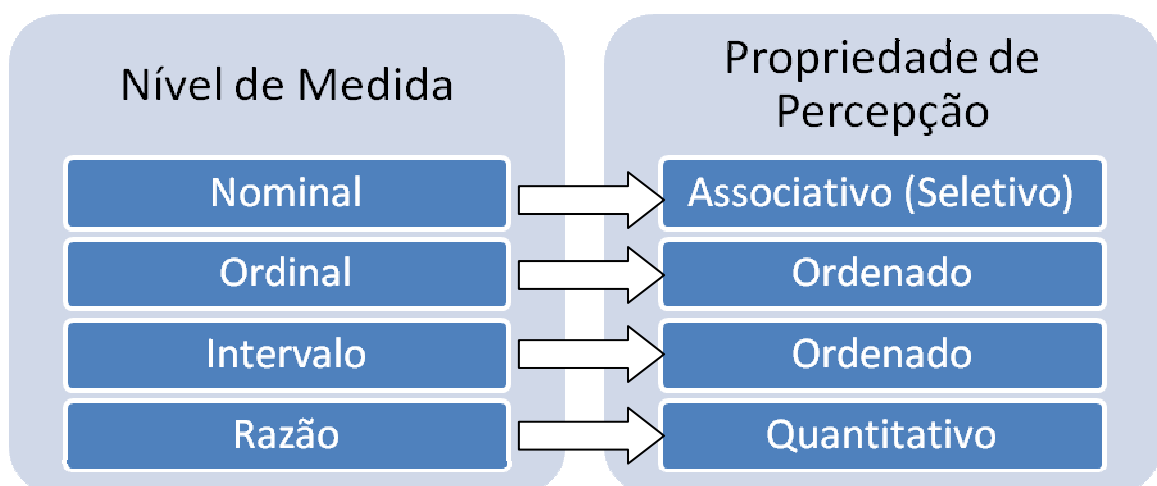


Figura 2.8: Relação entre os Níveis de Medida e as Propriedades de Percepção. Fonte: Elaboração do autor (2008).

MacEachren (1995) apresenta um quadro bastante elaborado que relaciona as propriedades perceptivas, os níveis de medida e as variáveis visuais.

	Intervalor/Razão	Ordinal	Nominal	Associativo/Seletivo
Localização	++	++	++	++
Tamanho	++	++	++	++
Valor	+	++		++
Saturação	+	++		++
Tom de Cor	+	+	++	++
Textura	+	+	++	++
Orientação	+	+	++	
Arranjo			+	
Forma			++	

Quadro 1: Variáveis visuais e suas propriedades perceptivas (++, bom; + moderado; em branco, ruim). Fonte: (MACEACHREN, 1995).

Para ilustrar a eficácia das variáveis visuais na apresentação de alguns tipos de dados é significativo analisar a variável visual tamanho. O tamanho pode variar para distinguir entre valores ordinais ou que permitam ordenação, representando o dado de forma proporcional. Considere, por exemplo, o censo sobre a quantidade de homicídios e agressões com circunstâncias agravantes na cidade de Baltimore no Estado americano de Maryland (Figura 2.9). A frequência de ocorrência destes crimes pode ser representada por círculos cujo tamanho indica uma frequência maior ou menor, ou nula caso o círculo não exista, em uma unidade do espaço. É perceptível que se trata em um valor ordinal e, portanto, pode-se distinguir quais áreas possuem maior frequência de crimes.

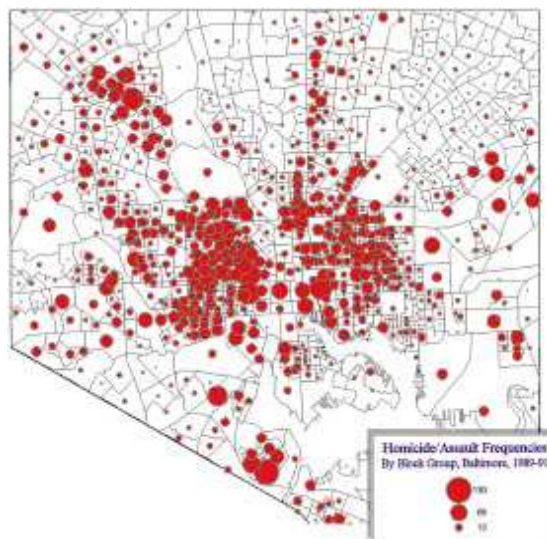


Figura 2.9: Mapa de círculos graduados apresentando o censo criminal em Baltimore, Maryland. Fonte: (CANTER, 1998).

As variáveis visuais, individualmente ou em conjunto, podem ser aplicadas na simbologia dos mapas. Entretanto, nem todas as variáveis aplicam-se adequadamente ao simbolismo de todos os tipos de fenômenos ou de dados geográficos.

O principal intuito deste trabalho é a construção de um modelo de representação de objetos móveis, a partir da aplicação dos conceitos de variáveis visuais acima descritos, utilizando os mapas com um enfoque interativo e exploratório. Para alcançar este objetivo é relevante aludir os conceitos e apresentações de objetos móveis. As próximas seções discutem este tipo especial de apresentação.

## 2.5 APRESENTAÇÃO DE OBJETOS MÓVEIS

Os objetos espaciais, ou simplesmente objetos, nos SIGs, são representações de entidades do mundo real ou conceitos criados pelo homem. As fronteiras de países, municípios e lotes, por exemplo, são exemplos de objetos conceituais, enquanto rios, florestas e veículos são exemplos de objetos que representam entidades do mundo real.

As representações de objetos em SIGs possuem obrigatoriamente atributos delimitando sua extensão geográfica (ponto, linha ou área) e a sua localização no espaço. Estes atributos são denominados atributos espaciais. Outros atributos, denominados atributos temáticos, auxiliam na descrição dos objetos e podem aparecer em uma grande variedade de número e formas. Considere, por exemplo, um objeto representando uma fazenda. O objeto fazenda possui como atributo espacial as coordenadas geográficas dos pontos de uma poligonal que define os limites da fazenda. Atributos como a identificação do proprietário, nome da fazenda e finalidades de uso, são exemplos de atributos temáticos do objeto fazenda.

Os objetos espaço-temporais são aqueles que possuem algum atributo temporal associado aos atributos espaciais ou temáticos. O atributo temporal representa o período de quando o valor do atributo associado é válido. Considere, por exemplo, o objeto fazenda. Caso exista um atributo temporal denominado data de aquisição, este atributo representa o período no qual o valor do atributo proprietário é válido, isto é, da data de aquisição até hoje.

Um objeto móvel é qualquer objeto, pontual ou com extensão, que muda sua posição geográfica continuamente com o passar do tempo. Como um objeto móvel possui atributos espaciais e temporais, este tipo de objeto pode ser considerado uma especialização de um objeto espaço-temporal. Por exemplo, um táxi pode ser modelado como um objeto pontual cuja localização varia com o tempo. Já um cardume de golfinhos pode ser modelado como um objeto bidimensional. No caso dos golfinhos, a localização e a geometria do cardume variam. Além disso, os objetos móveis não pontuais podem sofrer rotação. Desta forma, além da

velocidade linear, pode-se calcular também a velocidade angular de um objeto (YI; MEDEIROS, 2002).

Uma característica saliente dos objetos móveis está relacionada ao seu comportamento, e inclui informações como: a trajetória do movimento, velocidades e acelerações (linear e angular), o período em repouso ou em movimento, possíveis rotas futuras, entre outras. Apresentar estas características em mapas de forma clara, utilizando recursos visuais que auxiliem o entendimento e a exploração do movimento é um grande desafio ainda não solucionado satisfatoriamente.

Tradicionalmente, os cartógrafos têm-se utilizado de três abordagens para a apresentação de objetos espaço-temporais: mapas estáticos, seqüência de mapas estáticos e animações. Nos mapas estáticos, algumas variáveis visuais específicas e símbolos são usados para denotar mudanças dos valores dos atributos ao longo do tempo. Na série de mapas estáticos, cada mapa representa um instante de um momento significativo no tempo e juntos, reconstituem a história de um acontecimento. Na animação, a mudança é percebida pela apresentação sucessiva de quadros com pequenas variações nos valores dos atributos, dando ao usuário a ilusão de movimento (KRAAK, 2003a).

No caso específico dos objetos móveis, ainda não existe uma abordagem na forma de apresentação que seja considerada robusta ou a mais adequada para todos os casos. As formas de apresentações buscam facilitar a compreensão, memória, aprendizado e comunicação e permitir que se façam inferências sobre os fenômenos geográficos. Desta maneira, cada forma de apresentação possui vantagens e desvantagens que precisam ser levadas em consideração, tendo como base as características do movimento que se deseja comunicar.

É apresentada, a seguir, uma discussão mais detalhada das diversas formas de apresentação de objetos móveis. O objetivo aqui é identificar a forma de apresentação que melhor comunique as características do movimento das viaturas em um ambiente urbano, foco deste trabalho.

### **2.5.1 Apresentação de Objetos Móveis em Mapas Estáticos**

A maioria dos SIGs modernos suporta a apresentação, na forma de mapas estáticos, da dinâmica dos objetos móveis. Entre os mecanismos mais utilizados nesta forma de apresentação, destacam-se o uso de setas indicando a direção do movimento, linhas indicando o caminho percorrido pelos objetos e informações textuais mostrando quando uma localização particular foi visitada. Não seria possível relacionar aqui todos os mecanismos utilizados para comunicar as características do movimento dos objetos móveis em mapas estáticos. Desta

maneira, foram selecionados alguns exemplos significativos desta forma de apresentação. Os exemplos foram escolhidos tanto pela sua importância histórica quanto por representarem os tipos de apresentação mais usuais encontrados na literatura.

Um dos primeiros mapas estáticos conhecidos a explorar recursos visuais para comunicar as características do movimento de um objeto móvel foi o mapa desenvolvido por Charles Minard (Figura 2.10). O mapa de Minard, intitulado “*Carte figurative des pertes successives en hommes de l’Armée Française dans La campagne de Russie 1812-1813*”, foi publicado em 1869 e retrata a campanha desastrosa do exército de Napoleão Bonaparte na marcha de Moscou de 1812.

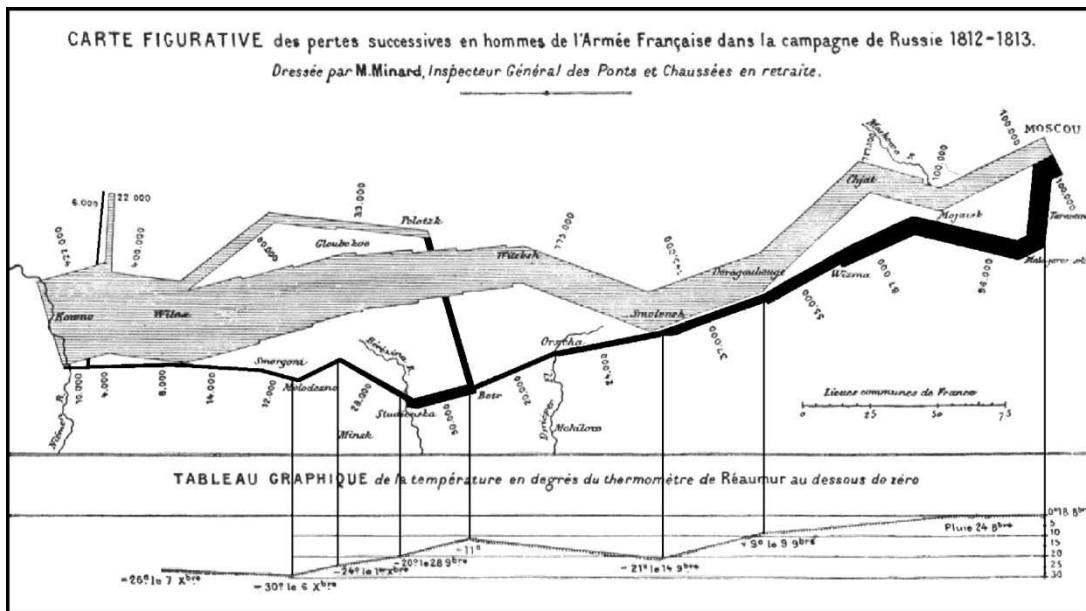


Figura 2.10: Mapa de Charles Minard ilustrando a marcha do exército de Napoleão para Moscou. Fonte: (PEUQUET; DUAN, 1995).

O mapa desenvolvido por Minard apresenta uma visão alternativa e intuitiva, diferente das apresentações tradicionais, através do uso de diversas primitivas gráficas e variáveis visuais. A primitiva gráfica linha em conjunto com as variáveis visuais *posição*, *tamanho* e *valor da cor* foram utilizadas para representar o caminho percorrido pelas tropas de Napoleão, tanto no avanço em direção a Moscou quanto na retirada de volta à França. A variável visual *posição* está intrinsecamente ligada à apresentação em mapas. A variável visual *tamanho* (espessura da linha) foi utilizada para representar o número de soldados em cada ponto do percurso. A diferenciação dos trajetos de avanço e retirada foi feita através da utilização da variável visual *valor da cor*, isto é, a cor cinza indica o avanço e a cor preta a retirada das tropas.

Minard utiliza também a apresentação de um gráfico de linha na parte inferior do mapa representando a temperatura ambiente durante a retirada. O uso desse gráfico tem o propósito de evidenciar o fato de que o rigor do inverno foi o maior inimigo dos soldados franceses durante a retirada.

A dimensão tempo, no mapa de Minard, é representada de forma implícita, através da distinção clara entre o avanço e a retirada das tropas. Desta maneira, Minard procurou transmitir somente a ordem dos eventos, sem se preocupar com datas específicas. Finalmente, o autor do mapa utilizou nomes (rótulos) para identificar algumas características geográficas e as principais batalhas ocorridas.

O mapa de Minard é um exemplo de representação estática de objetos móveis de forma criativa e que explora a utilização de recursos visuais e modelos gráficos para comunicar o conhecimento. Esse mapa pode ser descrito como uma representação narrativa do tempo e espaço que ilustra como múltiplas variáveis podem coexistir em um mesmo mapa de forma astuta e sutil, integradas de tal forma que o observador dificilmente percebe que está diante de uma representação de quatro ou cinco dimensões (TUFTE, 2001).

Trabalhos posteriores incorporaram novas variáveis visuais ao mapa original de Minard, buscando simplificar e aumentar o poder de comunicação do mapa (ROTH et al, 1997). O mapa da Figura 2.11, por exemplo, associou a primitiva gráfica linha e as variáveis visuais *tamanho*, *posição* e *tom da cor*. As variáveis tamanho e posição guardam o significado original do mapa de Minard, mas a variável tom da cor é utilizada para representar a variação da temperatura. A temperatura é representada no mapa por variações contínuas que vão da cor vermelha (quente) até a cor azul (frio). A utilização de cores mostra claramente o declínio da temperatura durante o retorno das tropas e permitiu suprimir do mapa o gráfico de linha utilizado anteriormente. A incorporação dos dados sobre a temperatura, neste caso, foi possível graças a omissão da informação sobre o que era avanço e o que era retirada. Os autores provavelmente levaram em consideração que os leitores do mapa possuem o conhecimento da posição relativa da França em relação à Rússia. Logo, os trajetos de avanço e retirada são facilmente inferidos pela direção dos percursos.

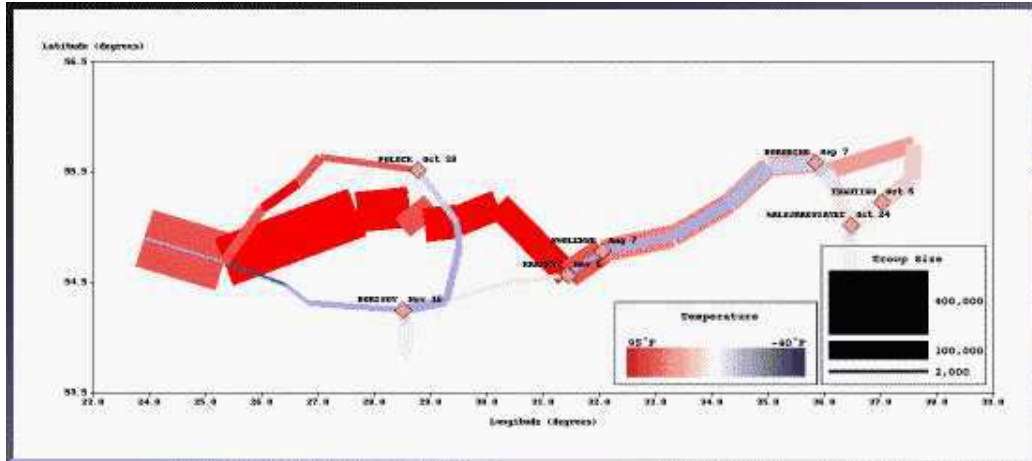


Figura 2.11: Mapa de Minard reconstruído visando associar a informação da temperatura diretamente no caminho percorrido pela tropa de Napoleão. Fonte: (KRAAK, 2009).

Outra variação do mapa original de Minard utiliza a terceira dimensão em substituição à primitiva gráfica linha e a variável visual tamanho (Figura 2.12). Neste caso, o caminho percorrido pelas tropas é representado através de paralelepípedos de larguras uniformes e alturas variáveis (KRAAK, 2009). A altura do paralelepípedo é utilizada para comunicar o número de soldados em cada trecho do percurso.

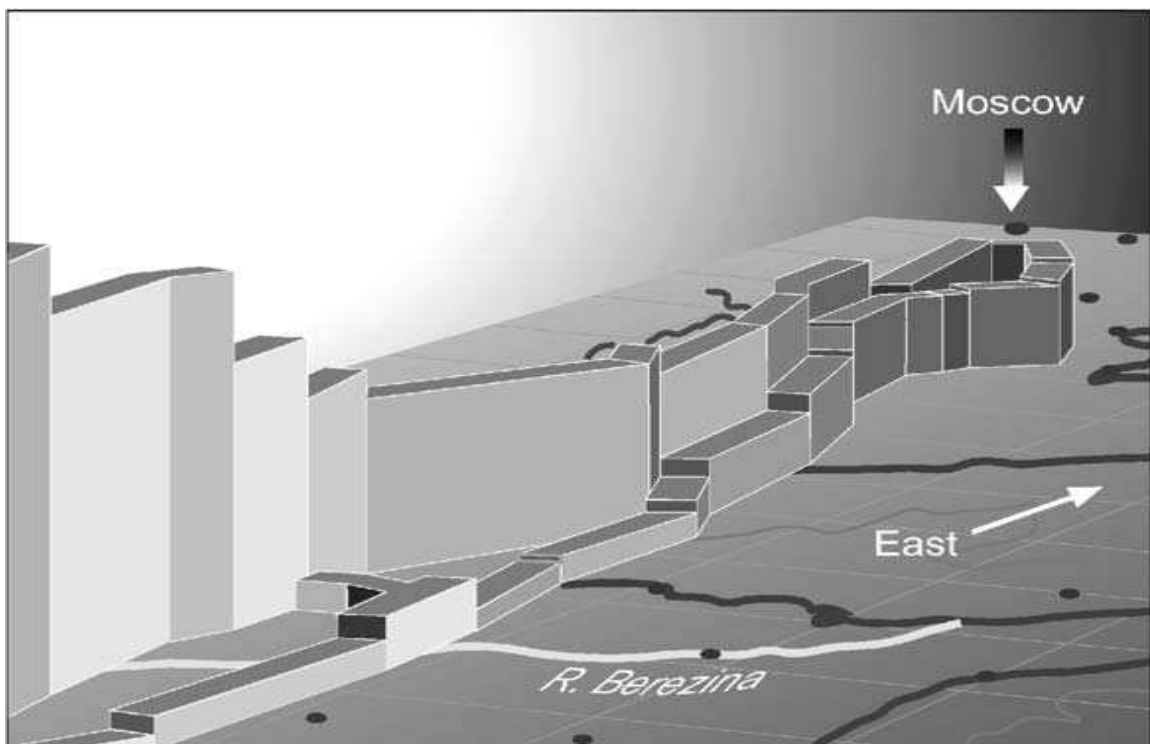


Figura 2.12: Representação tridimensional do tamanho da tropa de Napoleão na campanha russa em 1812. Fonte: (KRAAK, 2009).

A terceira dimensão pode ser aplicada, também, em uma perspectiva completamente distinta das anteriores através da utilização do cubo espaço-tempo (HAGERSTRAND, 1968). O cubo espaço-tempo utiliza o plano x-y (base do cubo) para a exibição de mapas de base e o posicionamento dos fenômenos geográficos e o eixo Z (altura do cubo) para representar a dimensão tempo (Figura 2.13). Esta forma de apresentação difere das anteriores por suportar uma representação explícita do tempo. Esta característica é fundamental em ambientes computacionais interativos, pois permite que o usuário mude a granularidade da dimensão tempo e produza visões com maior ou menor nível de detalhamento. O mapa da Figura 2.13, por exemplo, apresenta o eixo do tempo com uma granularidade de meses. Esta granularidade poderia ser refinada para dias, em uma visão mais detalhada, ou para estações do ano, em uma visão mais grosseira da seqüência de eventos. O cubo espaço-tempo oferece uma boa oportunidade para estudar a relação espaço-temporais dos fenômenos geográficos. Em especial, a sua utilização é bastante adequada para exibir e analisar a rota de múltiplos indivíduos, grupos ou objetos movendo-se no espaço (KRAAK, 2003b).

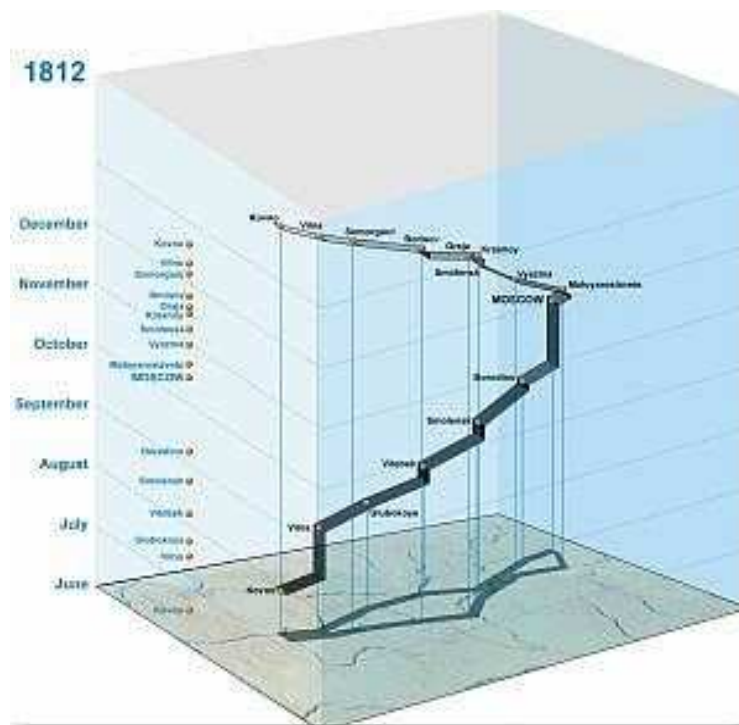


Figura 2.13: Apresentação do percurso da tropa Napoleônica na campanha russa de 1812 no cubo espaço-tempo. Fonte: (KRAAK, 2003b).



### 2.5.2 Apresentação de Objetos Móveis em Seqüência de Mapas Estáticos

De forma análoga aos mapas estáticos, apresentados anteriormente, o avanço das tropas de Napoleão pode ser demonstrado através de uma série de mapas estáticos (Figura 2.14). Cada mapa representa um instante, um *snapshot*, e juntos constituem o acontecimento. A mudança é percebida através da análise seqüenciada dos mapas, ou seja, a seqüência temporal é representada por uma seqüência espacial. O mapa (A) mostra o progresso da marcha através da zona ocupada pela França. Esta apresentação considera apenas a posição e dispersão da tropa, sem referenciar as batalhas. Não se faz alusão a temperatura ou ao número perdas de soldados durante a campanha. A tropa é representada através de uma área escurificada, que torna clara a distribuição espacial da tropa em cada instante. Analisando os dois instantes do mapa (A) é possível ter uma noção a respeito da direção das tropas e notar que a mesma está se dispersando.

O mapa (B) expõe os pontos de concentração das tropas de Napoleão. O primeiro mapa da seqüência refere-se ao dia 24 de Julho e, o segundo, ao dia 24 de Agosto. Todas as outras variáveis são omitidas nesta apresentação.

O mapa (C) segue o mesmo princípio do mapa (B) e adiciona a visão geral da campanha. O trecho do percurso que corresponde à data do mapa é destacado.

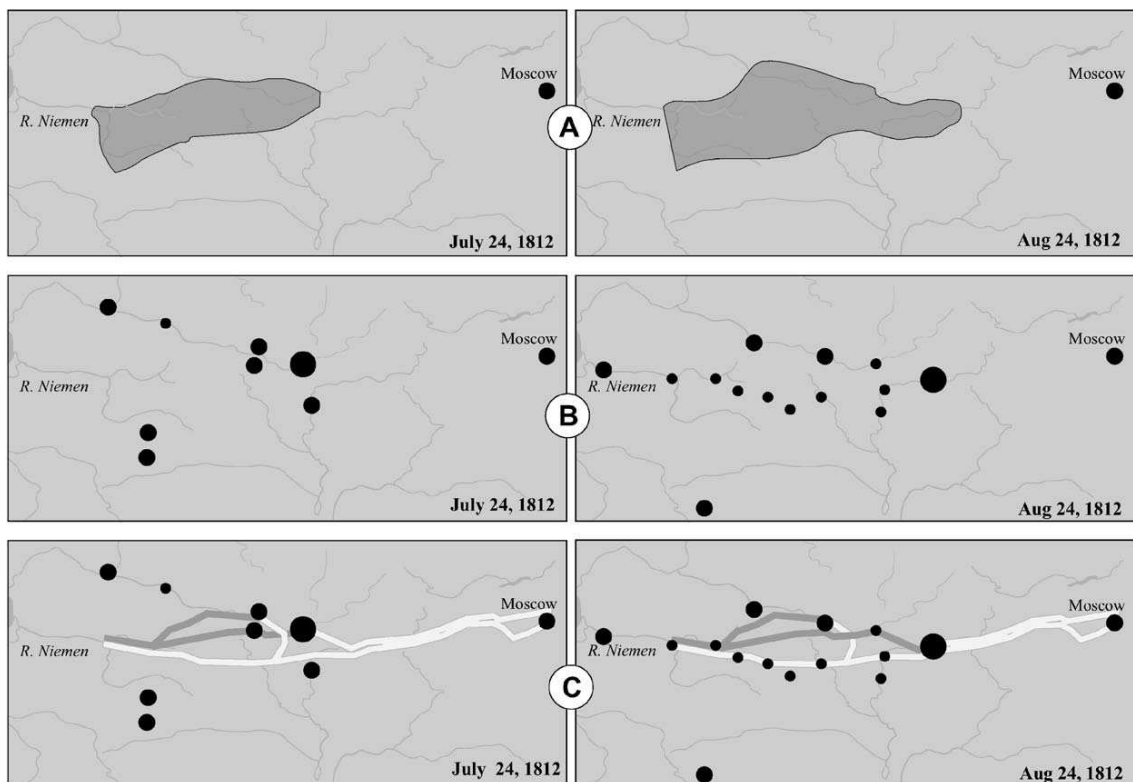


Figura 2.14: Instantes de tempo com a localização da tropa francesa em 24 de Julho e 24 de Agosto de 1812. Fonte: (KRAAK, 2009).

### 2.5.3 Apresentações de Objetos Móveis em Animações

A técnica de animação de mapas explora a capacidade do computador de atualizar rapidamente as informações que estão sendo apresentadas no monitor. Por ser uma técnica simples, a animação de mapas está presente na grande maioria das ferramentas que manipulam informações geoespaciais.

O sucesso da animação se deve, principalmente, a capacidade de comunicar a dinâmica dos fenômenos geográficos de uma forma direta, sem o uso de metáforas. A percepção da variação contínua do estado dos objetos, da velocidade e aceleração do movimento e o tempo de repouso, por exemplo, são características dos objetos móveis que são rapidamente assimiladas por usuários comuns.

Existem na literatura, diversos mecanismos para apresentação animada do movimento de objetos móveis (ANDRIENKO; ANDRIENKO; GATALSKY, 2003). No contexto dos SIGs, três técnicas merecem destaque:

- a) “*snapshot in time*”: em cada quadro da animação, o mapa mostra somente a posição dos objetos correspondentes ao momento representado. Em outras palavras, a animação mostra uma série de retratos sobre as posições dos objetos em cada instante;
- b) “*movement history*”: esta forma de animação mostra a rota dos objetos do início até o momento corrente. No final da animação, toda a rota é visível.
- c) “*time window*”: o mapa mostra fragmentos das rotas feitas durante um intervalo específico de tempo.

A técnica “*snapshot in time*” é bastante semelhante à técnica de apresentação em série de mapas estáticos. A principal diferença entre essas técnicas é que na apresentação “*snapshot in time*”, a variação de certo fenômenos no tempo é mostrada através da mudança de um único mapa, apresentado um após o outro. Já a apresentação em série de mapas, a percepção da variação do movimento é feita através da comparação entre múltiplos mapas que são apresentados ao mesmo tempo para o usuário. Outra diferença importante entre a animação “*snapshot in time*” e a seqüência de mapas é que na primeira é possível, a depender do número e freqüência de quadros apresentados, observar mudanças mínimas e contínuas do movimento, enquanto na segunda somente instantes significativos do movimento são apresentados.

A técnica “*movement history*” é uma variação da técnica “*snapshot in time*”. Nesta técnica o rastro do movimento do objeto é desenhado à medida que o objeto se desloca. Essa técnica só é utilizada para objetos móveis, isto é, aqueles cujo atributo espacial varia com o

tempo. A técnica “*movement history*” pode ser encontrada nas ferramentas MapTime (SLOCUM et al, 2006) e “The Atlas of Switzerland” (SIEBER; HUBER, 2007).

A técnica “*time window*” concentra em um único mapa, o movimento dos objetos durante um certo período de tempo. Nesta forma de apresentação a informação sobre a trajetória do objeto é visualizada através de setas, onde cada cena retrata a parte do movimento que ocorreu durante a janela de tempo. O tamanho da seta, por sua vez, representa a distância percorrida do início ao final do período, o que permite ao analista estimar a velocidade do movimento. Quando o objeto estaciona, a seta correspondente se reduz a um ponto (ANDRIENKO; ANDRIENKO; GATALSKY, 2003). De forma a ilustrar a técnica “*time window*”, considere a Figura 2.15. Na figura, cada imagem apresenta o fragmento do movimento de três objetos em seis momentos consecutivos. A duração da janela de tempo é um dia, isto é, representa o movimento dos objetos durante vinte e quatro horas. Na técnica “*time window*”, as imagens são apresentadas sequencialmente ao usuário.



Figura 2.15: “*Time Window*”, técnica de animação de objetos móveis. Fonte: (ANDRIENKO; ANDRIENKO, 2006).

A variante “*snapshot in time*” é adequada para explorar o movimento de apenas um objeto. Com o aumento da quantidade de objetos apresentados, o foco de atenção do usuário e a percepção do movimento dos objetos tornam-se deficitárias. A variante “*movement history*”, onde a posição de cada objeto é conectada com a posição anterior, pode prevenir o usuário de não conseguir acompanhar o percurso do movimento, entretanto o tamanho da rota desenhada pode ficar muito grande e complexa, o que facilita a perda de atenção. Neste caso, pode-se utilizar a técnica “*time window*” e ajustar a janela de tempo de forma a evitar a apresentação de rotas complexas.

Um problema comum encontrado nas técnicas de animação é a dificuldade em apresentar a dinâmica de um grande número de objetos. Esta característica se deve ao fato do ser humano possuir limitações de percepção e cognição durante a mudança freqüente e brusca de imagens. Com o aumento do número de objetos móveis em uma cena, a animação pode ser

distrativa e até prejudicial ao entendimento dos dados (MORRISON, 1974). De uma forma geral, quanto mais complexa a informação mais difícil de representar através de animação.

Diante das possibilidades para a apresentação de objetos móveis, conclui-se que a utilização de mapas estáticos seja a forma mais adequada para a apresentação das características do movimento das viaturas. Além disso, o fato de se desejar confrontar o movimento das viaturas com ocorrências policiais corroboram essa decisão. Ocorrências policiais são eventos espaço-temporais instantâneos, ou seja, não mudam de posição. Assim, mapa estático é a forma usual de apresentação desses fenômenos.

É necessário ponderar, entretanto, que os mecanismos para apresentação de objetos móveis em mapas estáticos, disponíveis nos SIGs, não são capazes de comunicar todas as características do movimento das viaturas necessárias à análise do deslocamento. Desta forma, foi proposto um modelo de apresentação do deslocamento de viaturas e ocorrências policiais em um único mapa estático que permite a correlação espaço-temporal desses fenômenos geográficos. Essa nova forma de apresentação é discutida no próximo capítulo.

### **3 APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO DE VIATURAS EM MAPAS ESTÁTICOS**

O aumento desordenado da população nos grandes centros urbanos é geralmente acompanhado do aumento da criminalidade. Como consequência, torna-se cada vez mais complexa a tarefa dos órgãos de segurança pública de inibir as ocorrências policiais através do monitoramento de extensas áreas urbanas. Objetivando responder ao aumento das atividades criminosas e atender à crescente demanda por policiamento, os órgãos policiais buscam cada vez mais equiparem-se com sofisticados recursos tecnológicos e recursos humanos bem treinados (SHERMAN, 1995; BORTOLANZA, 1999).

A despeito dos avanços tecnológicos e das técnicas de policiamento, um dos recursos ainda muito utilizados para tentar inibir alguns tipos de ocorrências policiais é o policiamento ostensivo com viaturas. As viaturas, além de realizar um policiamento preventivo, possibilitam um atendimento ágil às ocorrências policiais. Além disso, o uso de viaturas possui uma grande visibilidade junto à população, transmitindo a sensação de segurança e desestimulando as infrações à lei.

A simples realização de rondas com viaturas, entretanto, não garante o uso eficaz desse recurso. Idealmente, as viaturas devem estar sempre próximas aos locais com elevada probabilidade de ocorrências policiais, inibindo a ocorrência das mesmas ou possibilitando um rápido atendimento às ocorrências que não forem coibidas.

Desta forma, um dos principais problemas no planejamento das rondas com viaturas é identificar as rotas e os horários mais eficazes no combate à criminalidade. O bom planejamento é aquele que garanta que as viaturas, na medida do possível, estarão no lugar certo na hora certa. O desejável é que as viaturas estejam suficientemente próximas dos locais de possíveis ocorrências de maneira a inibir a infração ou crime de ser praticado ou prestar um rápido atendimento caso não seja possível evitar a ocorrência policial.

A tarefa de planejar rondas policiais, entretanto, é extremamente complexa. Essa tarefa envolve o gerenciamento de recursos muitas vezes escassos (viaturas, policiais e combustível), e a análise histórica de um grande volume de informações (ocorrências policiais). As ocorrências policiais, por sua vez, são variáveis extremamente dinâmicas e complexas. Desta forma, o planejamento das rotas deve ser constantemente validado pelo cruzamento das informações dos deslocamentos das viaturas e das ocorrências policiais. A

redução da oportunidade do crime em certa área, com o aumento de viaturas, por exemplo, pode significar o deslocamento do crime para outras áreas (SILVA, 2007).

Analisar a movimentação das viaturas e confrontar as características do movimento desses objetos com a localização das ocorrências criminais possibilita a coleta de informações relevantes para o correto planejamento das rotas. Entretanto, existe uma grande deficiência no que tange à apresentação das características do movimento das viaturas e das ocorrências policiais em uma mesma ferramenta de visualização. Primeiro, as apresentações de objetos móveis nos SIGs tradicionais privilegiam somente a componente espacial do deslocamento. Informações como o horário em que cada ponto foi visitado, a velocidade do veículo ao longo do trajeto e o tempo em que o veículo ficou parado em uma determinada localidade não são apresentadas diretamente. Essas informações para serem extraídas das apresentações usuais de objetos móveis, exigem um enorme trabalho de mineração de dados e um grande esforço intelectual por parte do analista. Segundo, as funcionalidades padrões existentes nos SIGs não provêm nenhum mecanismo que possibilite uma classificação objetiva da rota de um veículo quando comparada a eventos pontuais que ocorrem em um determinado instante no tempo. Este mecanismo poderia ser utilizado, por exemplo, em uma classificação automática das rotas das viaturas quando comparada aos dados de um longo período de ocorrências criminais. Como consequência, seria possível para um analista avaliar se o trajeto de uma viatura ao longo de sua ronda foi mais ou menos efetivo em comparação com o deslocamento de outras viaturas.

Objetivando fornecer aos especialistas em segurança pública uma ferramenta computacional que facilite a análise e o planejamento das rotas de viaturas, este capítulo apresenta um modelo de visualização de ocorrências policiais e deslocamentos das viaturas onde os dados sobre as características do movimento são explicitamente apresentados. Além disso, este capítulo apresenta uma classificação para as rotas das viaturas levando em consideração a proximidade espacial e temporal do veículo com as ocorrências policiais e um sumário descritivo que permite identificar, de forma objetiva, a que classe cada rota pertence.

### 3.1 APRESENTAÇÃO DO MOVIMENTO DE VIATURAS E OCORRÊNCIAS POLICIAIS

Ocorrências policiais são eventos pontuais e instantâneos que possuem uma localização fixa no espaço, isto é, a uma ocorrência policial é representada no mínimo por uma localização, a hora em que a mesma ocorreu e uma tipificação informando o tipo de ocorrência (furto,

roubo, etc.). Os SIGs possuem basicamente duas formas de apresentar esses tipos de objetos: através de pontos ou através de mapas de densidade.

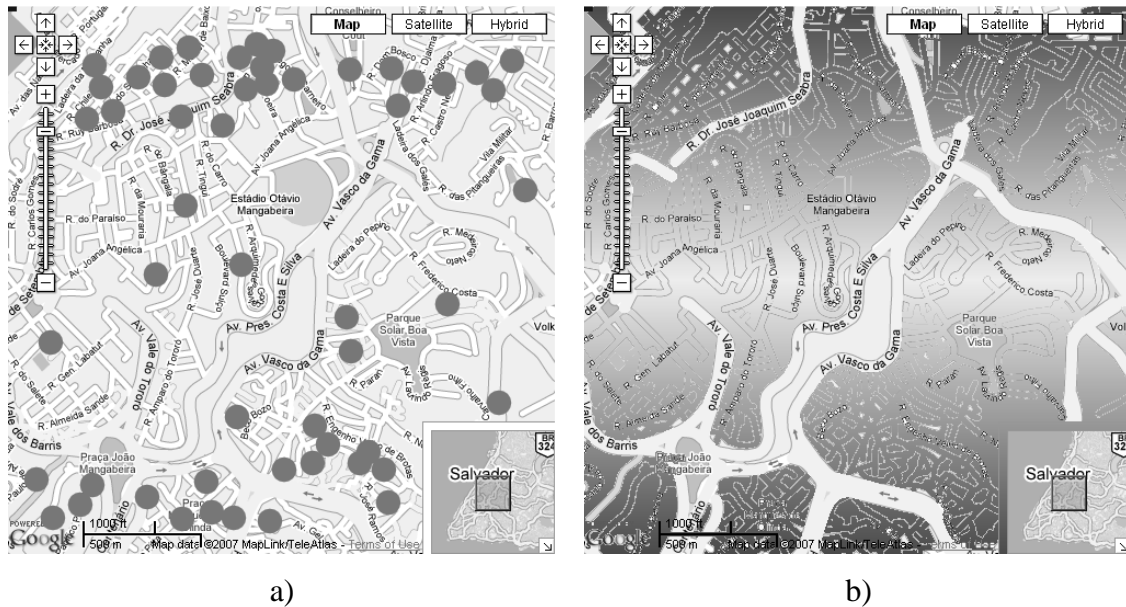


Figura 3.1: Tipos de apresentação de ocorrências policiais em mapas estáticos: a) mapa de pontos e b) mapa de densidade. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Os mapas de pontos são obtidos pela simples associação de um símbolo à localização da ocorrência no mapa (Figura 3.1.a). O mapa de pontos fornece uma idéia bastante precisa da localização de cada evento. Com o aumento do número de eventos, entretanto, a apresentação através de mapas de pontos se torna confusa e tende a se tornar um aglomerado amorfo de pontos, principalmente em pequenas regiões com elevado número de ocorrências. Uma forma alternativa e bastante intuitiva para representar um número grande de eventos é a utilização de mapas de densidade (Figura 3.1.b). A densidade é obtida através da divisão do número de ocorrências por unidade de área. As unidades de área são coloridas de acordo com os valores obtidos das operações de divisão. Os mapas de densidade podem ser coloridos, por exemplo, com cores mais escuras representando regiões com alta densidade e cores claras para regiões de baixa densidade.

Uma característica dos mapas de densidade é que as ocorrências não são mais individualizadas. Esta característica prejudica uma análise mais detalhada das ocorrências policiais quando confrontadas com as rotas das viaturas.

Um problema comum dos mapas de pontos e de densidade é que a informação temporal é omitida na apresentação. Embora os SIGs possuam mecanismos para estabelecer filtros espaciais, temporais e temáticos, não é possível inferir a partir das apresentações usuais com mapas de pontos e densidade o horário exato no qual as ocorrências aconteceram. Por

exemplo, é possível selecionar a visualização de um determinado tipo de ocorrência que aconteceu em certa região durante o período da manhã de um determinado dia. Os mapas de pontos e densidade irão apresentar somente as informações solicitadas, mas o analista não terá condição de diferir das ocorrências que aconteceram no início da manhã das que aconteceram perto do meio dia.

As viaturas diferem das ocorrências policiais, pois são objetos móveis pontuais que mudam sua posição geográfica continuamente durante o tempo. O movimento desse tipo de objeto, na maioria dos SIGs, é apresentado através de animações, de seqüências de mapas estáticos ou de um simples mapa estático.

No contexto de visualização de viaturas, as técnicas de animações não são adequadas, pois possuem fortes limitações na apresentação de movimentos longos ou de muitos objetos simultaneamente. No caso da visualização de viaturas, o analista teria que analisar o movimento de vários veículos atuando em uma mesma região de interesse por períodos que podem variar de algumas horas até um dia inteiro de movimentação. A representação em seqüência de mapas estáticos, por sua vez, não permite uma visão completa da trajetória do veículo em um único mapa. Nestes casos, o número de mapas necessários é diretamente proporcional a duração e complexidade do movimento da viatura. Assim, o processo de análise do movimento das viaturas e das ocorrências policiais baseado nos modelos de animação e seqüência de mapas estáticos seria pouco intuitivo e contraproducente.

A terceira alternativa seria a visualização da trajetória das viaturas em mapas estáticos. Esse modelo de visualização possui a vantagem de apresentar em uma única tela informações sobre todo o deslocamento do veículo e de todas as ocorrências policiais, permitindo uma análise detalhada e identificação de padrões derivados dos cruzamentos desses dados.

Tradicionalmente, os SIGs fornecem dois mecanismos para a apresentação da trajetória dos objetos móveis em mapas estáticos: através da apresentação de alguns pontos ao longo da trajetória e através da apresentação do caminho percorrido pelo objeto.

A apresentação através de pontos periódicos da localização do objeto é o modelo mais primário para comunicar o movimento e possui alguns inconvenientes (Figura 3.2.a). Primeiro, a informação sobre a localização entre os pontos é perdida, isto é, esta visualização não permite captar as posições intermediárias do movimento. Desta forma, não é possível visualizar a trajetória completa do veículo, mas somente especular sobre o caminho percorrido entre dois pontos no mapa. Segundo, a noção da velocidade do deslocamento está condicionada a freqüência da amostragem dos pontos. Se a posição do objeto é apresentada em intervalos regulares de tempo, a velocidade pode ser inferida pelo espaçamento dos pontos



na amostra. Se a amostragem privilegia posições significativas do movimento, a velocidade do veículo não pode ser extraída da apresentação.

A apresentação através do caminho percorrido pode ser interpretada como um refinamento do modelo de pontos, pois indica todo o deslocamento do objeto (Figura 3.2.b). Este modo de apresentação privilegia a componente espacial do movimento, detalhando todo o percurso. Nesse modo de apresentação, entretanto, não se pode inferir muito sobre o comportamento da viatura durante a trajetória. A velocidade em cada trecho, por exemplo, não pode ser derivada das distâncias entre os pontos.

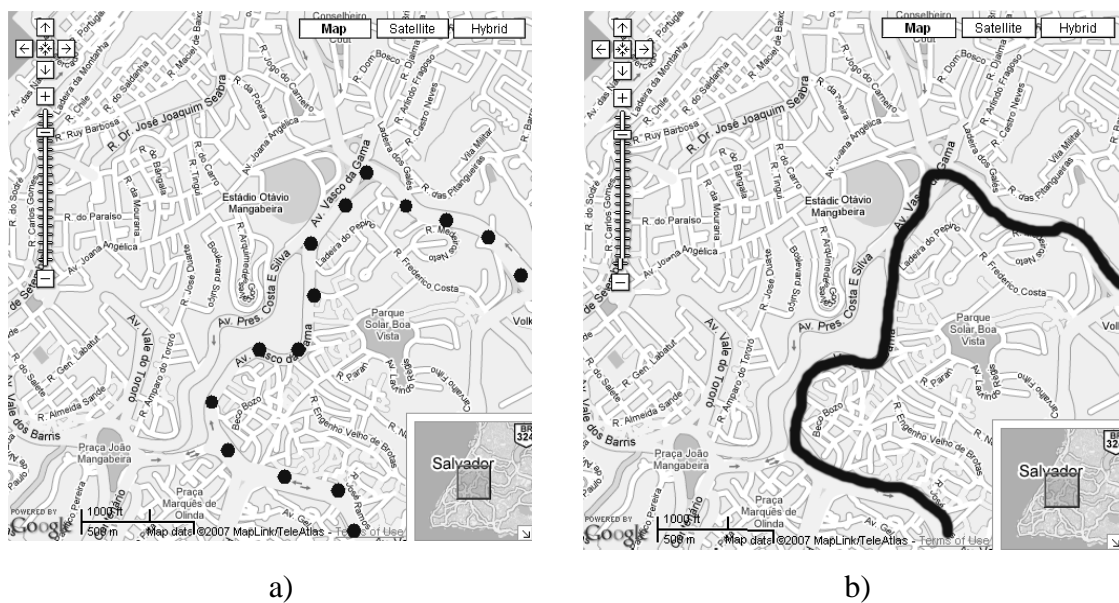


Figura 3.2: Tipos de apresentação de objetos móveis em mapas estáticos: a) apresentação através de alguns pontos ao longo da trajetória e b) apresentação do caminho percorrido. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Embora os modelos de visualização baseados em mapas estáticos apresentem um grande potencial no suporte à atividade de análise dos deslocamentos das viaturas e de ocorrências policiais, os modelos usualmente disponíveis possuem o inconveniente de não comunicar a dimensão tempo e algumas características do movimento que são importantes no processo de análise, como a velocidade do veículo ao longo do trajeto e o tempo parado em alguma localidade. Desta forma, foi proposto um modelo alternativo de apresentação capaz de comunicar as características do movimento das viaturas e das características temporais das ocorrências policiais em um único mapa estático. Esta nova forma de apresentação é detalhada nas próximas seções.

### 3.1.1 Apresentação das Características do Movimento de Viaturas em Mapas Estáticos

A concepção do modelo para apresentação das características do movimento das viaturas em mapas estáticos foi inspirada no mapa de Minard (TUFTE, 2001) e fundamentou-se nos princípios da semiologia gráfica. A semiologia gráfica é uma metodologia desenvolvida para codificar informações em uma linguagem gráfica. Esta metodologia se baseia em um sistema de símbolos utilizados para comunicar dados reais ou conceitos abstratos (componentes) através de modelos gráficos. A semiologia gráfica busca propiciar a percepção imediata e apreensão clara dos componentes através de um sistema semântico baseado em regras relacionadas aos signos.

Baseado nos princípios da semiologia gráfica, este trabalho propõe uma combinação de variáveis visuais para apresentar os principais componentes que descrevem o comportamento de uma viatura, isto é, caminho percorrido, identidade, tempo, velocidade e duração do repouso (Quadro 2).

<b>Componente</b>	<b>Propriedade Perceptiva</b>	<b>Primitiva Gráfica</b>	<b>Variável Visual</b>
Identidade (Objeto Móvel)	Associativa	Linha	Cor
Caminho Percorrido	Seletiva	Linha	Localização
Tempo	Ordenada	Linha	Valor
Velocidade	Quantitativo	Linha	Tamanho
Duração do Estado em Repouso	Quantitativo	Área	Tamanho

Quadro 2: Componentes e variáveis visuais para viaturas. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O caminho percorrido pela viatura é um componente estritamente associado à localização e é desenhado de forma linear no mapa. A escolha dessa variável é justificada por sua propriedade seletiva. A propriedade perceptiva seletiva enfatiza a informação espacial.

A identidade da viatura é apresentada pela variável cor. A utilização desta variável se deve a sua propriedade perceptiva associativa. Esta variável permite agrupar visualmente todas as rotas de uma mesma viatura. Desta forma é possível distinguir visualmente as diferentes viaturas representadas. A forma de representação é dita linear, pois a cor é utilizada no traçado do percurso.

O tempo é representado pela variável valor (variação da tonalidade da cor, de claro a escuro). Esta variável provê uma noção de ordem, ou seja, é possível perceber uma seqüência natural dos dados, formando uma progressão temporal visualmente compreendida.

A velocidade, por sua vez, é representada pelo tamanho (espessura) da linha. Essa variável possui propriedade perceptiva quantitativa. A duração do estado de repouso é representada por uma área, definida por uma circunferência (o contorno no círculo). Estes dois componentes, velocidade e duração do estado de repouso, possuem valores numéricos associados. O interesse na representação desses componentes é permitir uma comparação visual e quantitativa entre os seus valores.

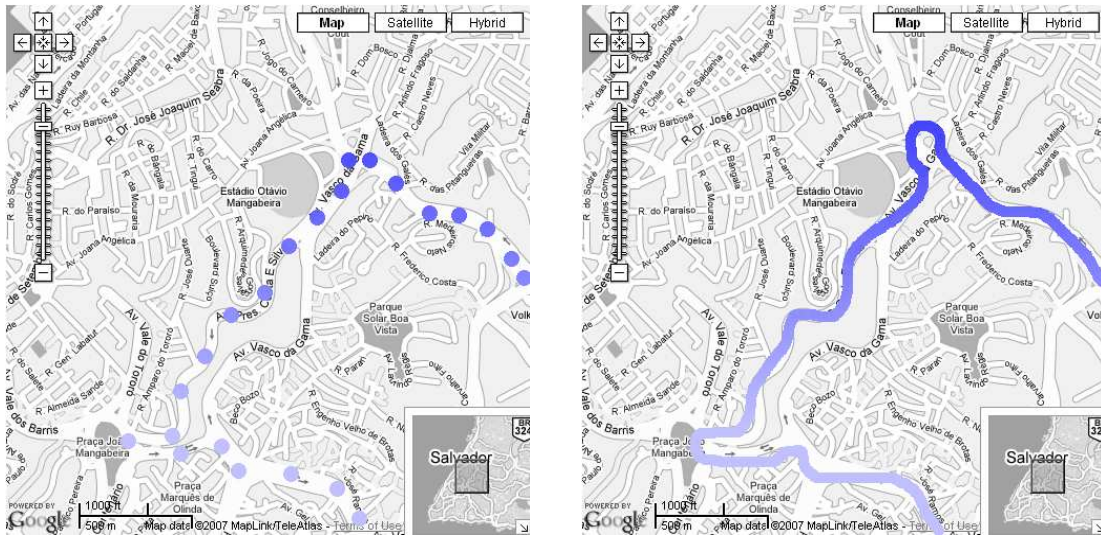
De forma a ilustrar a apresentação visual dos componentes citados e evidenciar a evolução do modelo proposto sobre as técnicas tradicionais de apresentação de objetos móveis, foi apresentada a evolução do movimento de uma viatura em um ambiente urbano (Figura 3.3). Em todos os mapas é aplicada uma gradação de cor que varia do tom mais claro para o tom mais escuro, associando o atributo tempo à localização do veículo. Desta forma, a tonalidade mais clara está associada ao instante inicial do movimento e o tom mais escuro ao instante final. A utilização da variável valor para representação do tempo permite que a variação do tempo seja percebida de forma eficaz em todas as apresentações, embora com diferentes níveis de granularidade.

A Figura 3.3.a mostra a rota da viatura através de pontos periódicos de sua localização. Nesta figura está explícito o atributo tempo. É possível entender com facilidade a variação temporal do movimento. Entretanto, a informação sobre a localização entre os pontos é perdida, isto é, esta visualização não permite captar as posições intermediárias do movimento. Desta forma, não é possível visualizar a trajetória completa do veículo. A noção de velocidade está condicionada a amostragem da localização.

A Figura 3.3.b aperfeiçoa a apresentação da rota da viatura detalhando o percurso. Os pontos intermediários da rota já são visíveis. É possível, ainda, identificar mais detalhadamente a variação no tempo e a localização da viatura em cada instante. Entretanto, não se sabe o comportamento da viatura durante a trajetória. A velocidade está oculta nesta apresentação.

A Figura 3.3.c é a apresentação do modelo proposto. Procurou-se nesta apresentação, solucionar os inconvenientes das apresentações anteriores, no intuito de permitir o entendimento completo da trajetória e do comportamento do objeto. A variação da velocidade e o tempo em que a viatura ficou em repouso estão explícitos nesta representação. Entende-se que quanto mais rápido a viatura, menos contato ela tem com o meio e quanto maior o tempo parado maior a relação da viatura com aquela localização. Neste sentido, a velocidade da viatura é inversamente proporcional a espessura da linha da trajetória, quanto mais fina o intervalo maior a velocidade da viatura. A mesma abstração é feita para o estado de repouso

do objeto. Um círculo ao redor do ponto da trajetória indica que a viatura ficou parada, quanto maior o tempo de repouso maior o círculo.



a)

b)



c)

Figura 3.3: Evolução do modelo de representação do movimento de uma viatura em um ambiente urbano utilizando-se mapas estáticos. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Para alcançar o objetivo do modelo - prover ao analista, através de representações estáticas, informações visualmente perceptivas que auxiliem o planejamento de viaturas em um ambiente urbano - é necessário, também, apresentar pontos de ocorrências criminais que expressem a necessidade do policiamento e conduza o planejamento. Foi proposto, na etapa seguinte, um modelo para apresentação dos eventos criminais.

### 3.1.2 Apresentação de Ocorrências Policiais em Mapas Estáticos

A concepção de um modelo para apresentação de eventos criminais foi baseado também nos princípios da semiologia gráfica. Desta forma, definiu-se uma combinação de variáveis visuais para apresentar os principais componentes que descrevem os eventos criminais e suas características.

Os eventos criminais possuem uma quantidade grande de informações de relevância para análise criminal, entretanto, para o modelo proposto, concentrou-se nas variáveis mais comuns, que formam a base do conceito das ocorrências criminais: a localização no espaço, o tipo do crime e o momento de ocorrência (Quadro 3).

<b>Componente</b>	<b>Propriedade Perceptiva</b>	<b>Primitiva Gráfica</b>	<b>Variável Visual</b>
Localização do Evento	Seletiva	Ponto	Localização
Tempo	Ordenada	Ponto	Valor
Tipo do Crime	Associativa	Ponto	Cor

Quadro 3: Componentes e variáveis visuais para Eventos Criminais. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O propósito da apresentação dos eventos é permitir a visualização do histórico de um período. Todos os eventos que atendam aos critérios de busca serão apresentados codificando as informações de tipo do crime e tempo através das variáveis visuais e primitivas gráficas.

A posição espacial do evento é desenhada através de um ponto no mapa. De forma equivalente às viaturas, a representação do tempo é feita através da variável visual valor. O interesse aqui é permitir que a relação de tempo, isto é, a ordem dos acontecimentos, seja visualmente percebida de forma coerente em ambas as apresentações. Esta relação deve existir não só entre um evento e outro ou um objeto móvel e outro, mas entre todas as entidades cujo tempo é característica inata.

Os tipos de crime são representados pelo tom de cor. Esta variável visual possui forte tendência associativa, o que permite agrupar visualmente todos os eventos que possuem, como atributo, o mesmo tipo de crime.

Para exemplificar o modelo apresentado e demonstrar os componentes e suas respectivas formas de representação, considere a apresentação de ocorrências policiais nas figuras a seguir. A Figura 3.4.a apresenta uma série de eventos de um mesmo tipo dentro de uma janela de tempo. A distância temporal entre os eventos está representada através da gradação da cor. A Figura 3.4.b apresenta cinco tipos de eventos distintos, cada tipo com um

tom de cor diferente. O tempo também está explícito através do nível ordinal característico da variável visual valor.

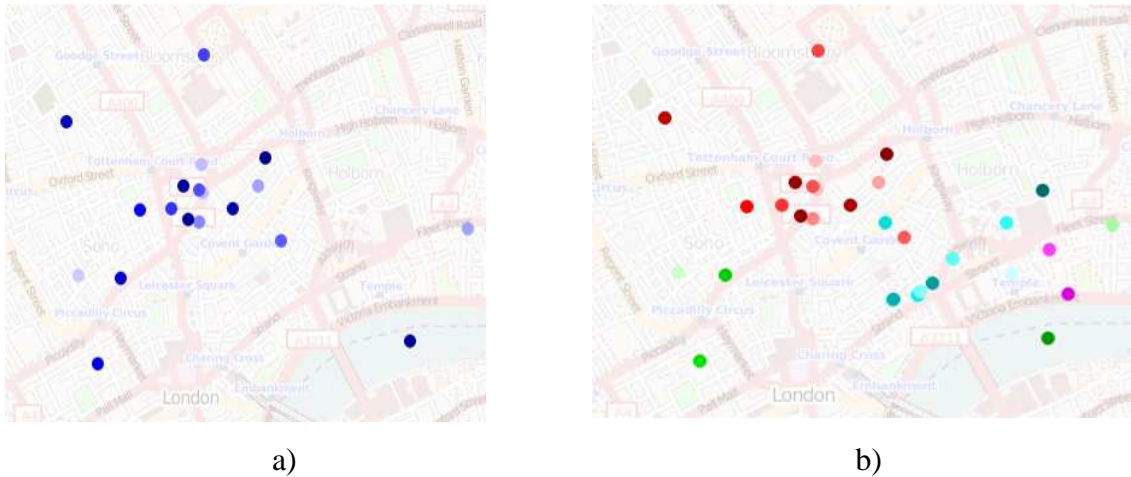


Figura 3.4: Representação em mapas estáticos de eventos criminais: a) apresentação de um único tipo de evento e b) apresentação de vários tipos de eventos. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O modelo apresentado será analisado com maior propriedade na próxima seção, expondo as possíveis relações e hipóteses que podem ser extraídas e construídas a partir de exemplos práticos de sua aplicação.

### 3.2 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DE ROTAS DE VIATURAS

As apresentações do histórico da movimentação das viaturas e dos eventos criminais unificadas em uma única ferramenta visual fornecem subsídios para a exploração das relações e, como consequência, a identificação de tendências pertinentes à criminalidade. O interesse desta análise é aprimorar a percepção e o nível de conhecimento sobre os dados.

Discutiu-se, neste item, a eficácia do modelo apresentado aplicado a uma análise de um curto espaço de tempo das viaturas e ocorrências criminais, isto é, durante as últimas horas ou dias.

Apresentou-se, também, uma classificação para as rotas das viaturas em relação aos eventos criminais considerando os aspectos espaciais e temporais. Esta classificação leva em consideração a proximidade espacial e temporal da viatura e as ocorrências criminais. E permite classificar a qualidade da rota.

Resumidamente, uma rota pode ter uma das seguintes classificações quando comparada com determinado evento criminal que está dentro de sua área de atuação:

- a) **Lugar Certo X Hora Certa:** ocorre quando o evento está posicionado na exata localização do espaço e tempo (ou muito próximo) de uma viatura;

- b) **Lugar Certo X Hora Errada:** ocorre quando o evento se encontra na mesma localização do espaço (ou muito próximo) de um ponto da rota, contudo, em um momento diferente de quando a viatura passou pela localidade em questão;
- c) **Lugar Errado X Hora Certa:** ocorre quando o evento se encontra no mesmo instante de tempo de um determinado ponto da rota, entretanto, distantes espacialmente;
- d) **Lugar Errado X Hora Errada:** ocorre quando a rota está completamente distinta do evento, tanto no que se refere à localização no espaço quanto ao instante do tempo.

Nos exemplos a seguir serão aplicados os conceitos discutidos e os modelos de apresentação de objetos móveis e eventos em um mesmo mapa. Os conceitos de tempo, localização, tonalidade e velocidade serão aplicados simultaneamente.

A Figura 3.5 apresenta o histórico da viatura em um período de quatro horas. A variação de velocidade da viatura está explícita na representação. Pontos de menor velocidade são representados por linhas mais espessas. No período em análise houve apenas um ponto de parada. O momento da rota em que a viatura ficou parada ocorreu na parte inicial da trajetória, percebido através do círculo em volta do ponto cuja cor possui maior luminosidade (valor). A figura apresenta, também, alguns eventos policiais com a mesma tipificação criminal, por isso possuem o mesmo tom de cor. A gradação da luminosidade indica o tempo e pode ser facilmente associada ao trajeto do veículo. Desta forma, pode-se identificar se o evento ocorreu antes ou depois ou, ainda, durante a passagem do veículo. Este aspecto permite algumas inferências interessantes sobre o comportamento dos eventos em relação à viatura, como, por exemplo, se as características do movimento interferiram na ocorrência do crime, ou se o fato da viatura ter parado, por um intervalo de tempo, diminuiu a ocorrência criminal do local.

Ainda na Figura 3.5, pode-se perceber que a rota da viatura passa muito próxima dos pontos de ocorrência, portanto a distância espacial entre os eventos criminais e a rota é muito pequena. A partir da comparação entre a luminosidade dos tons entre a rota e os eventos, torna-se claro que a rota coincide temporalmente com os eventos. Neste sentido, é possível classificar a rota como Lugar Certo na Hora Certa.





Figura 3.5: Histórico de uma viatura e alguns eventos (Lugar Certo, Hora Certa). Fonte: Elaboração do autor (2008).

A Figura 3.6 apresenta o histórico da mesma viatura apresentada na figura anterior, mas com os eventos policiais ocorrendo em momentos distintos. Nesta apresentação é possível trabalhar com as mesmas inferências apresentadas anteriormente, é possível, também, realizar uma busca visual sobre as regiões de maior incidência de crimes e verificar se existe uma relação temporal entre os eventos. Se os eventos ocorreram em momentos próximos, a diferença de luminosidade será sutil. Pode-se perceber, também, que ocorreram predominantemente eventos criminais muito próximos à rota da viatura, todavia em momentos distintos, portanto é possível classificar esta rota como Lugar Certo na Hora Errada.

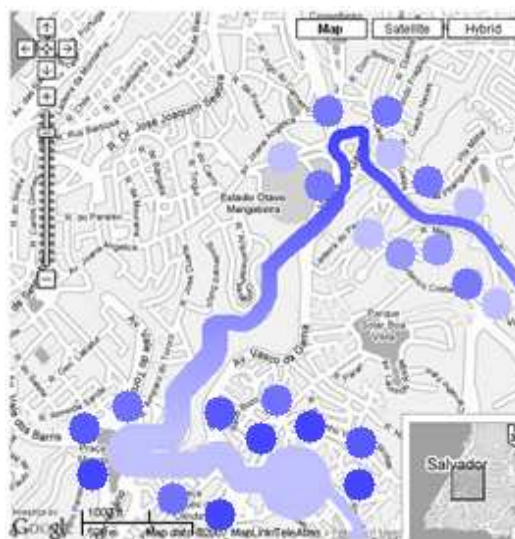


Figura 3.6: Histórico de uma viatura e muitos eventos (Lugar Certo, Hora Errada). Fonte: Elaboração do autor (2008).



A Figura 3.7 apresenta um caso inverso ao explicitado pela Figura 3.6. No caso atual, os eventos criminais estão ocorrendo em posições relativamente distantes da rota. Entretanto, é possível identificar que os eventos ocorrem durante a ronda da viatura, ou seja, o ponto da rota mais próximo do evento em análise possui uma distância temporal pequena. Portanto, conclui-se que a rota apresenta um caso predominante de Lugar Errado na Hora Certa.



Figura 3.7: Histórico de uma viatura e alguns eventos (Lugar Errado, Hora Certa). Fonte: Elaboração do autor (2008).

O último caso apresenta o pior caso da rota. Nesta figura pode-se identificar que predominantemente os eventos ocorrem distantes temporal e espacialmente. Portanto, esta rota é classificada como Lugar Errado na Hora Errada.



Figura 3.8: Histórico de uma viatura e alguns eventos (Lugar Errado, Hora Errada). Fonte: Elaboração do autor (2008).

O modelo de apresentação das características do movimento de viaturas e dos eventos criminais em mapas estáticos apresenta bons resultados quando aplicado a um curto espaço de tempo. Ao analisar os históricos da movimentação das viaturas e dos eventos limitados a uma janela de tempo reduzida, é possível construir hipóteses e extrair conhecimento, relacionando características espaço-temporais entre as viaturas e as ocorrências policiais.

A utilização do modelo para a análise de longos espaços de tempo, entretanto, não se mostrou adequado. A distinção entre longo espaço de tempo e curto espaço de tempo não é absoluta, o conceito por trás desta distinção reflete a quantidade de primitivas gráficas representadas simultaneamente em um mesmo mapa. Existe uma limitação clara na apresentação de dados através de computadores quando a quantidade de informações extrapola o espaço disponível ou sobrepõe em demasia outras primitivas, tornando a leitura do mapa complexa e pouco eficiente. Essa limitação faz surgir alguns problemas como a dificuldade em localizar um item específico (navegação), interpretar as informações (compreensão) e relacionar itens distintos (associação) (LEUNG; APPERLEY, 1994).

Resumidamente, o que caracteriza um longo espaço de tempo é a dificuldade crescente de extrair conhecimento dos dados apresentados. Esta dificuldade pode ser percebida quando o histórico apresentado se estende por dias ou meses.

A Figura 3.9 apresenta o histórico da movimentação de uma viatura adicionado ao mapa uma quantidade grande de eventos que ocorreram na região. Os eventos recuperados possuem o mesmo tipo de crime e ocorrem durante uma janela de tempo de 3 dias. A quantidade de dados na tela gerou a superposição de eventos e a dificuldade de identificá-los individualmente. O mesmo efeito ocorrerá se for adicionada na apresentação uma quantidade maior de viaturas por um período longo de tempo. Quanto maior a quantidade de rotas apresentadas maior a complexidade de acompanhar visualmente o percurso da viatura e, portanto, menor será o proveito da aplicação do modelo.

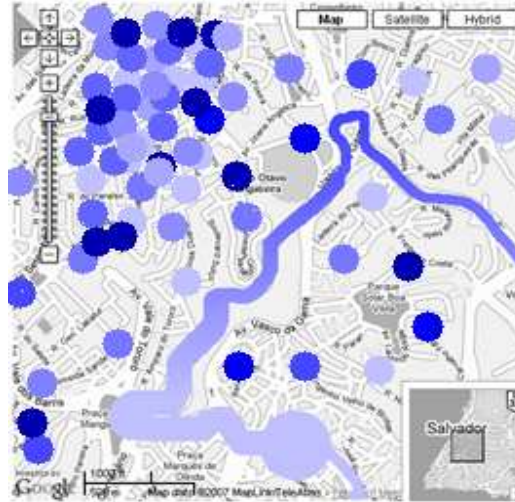


Figura 3.9: Histórico da movimentação de uma viatura e muitos eventos criminais em um longo espaço de tempo. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Conclui-se que o modelo proposto contempla a representação das características do movimento dos objetos considerando o histórico da movimentação em um curto espaço de tempo, isto é, nas últimas horas ou dias. O modelo, entretanto, não se mostrou adequado ou robusto o suficiente para a representação das características do movimento com dados históricos de um longo período de tempo, isto é, dias, meses ou anos. Esta desvantagem, apesar de não ser exclusiva do modelo em alusão, limita as possibilidades de análise do usuário ao dificultar o entendimento dos dados e ocultar possíveis informações que conduzem ao planejamento adequado.

De forma a complementar o modelo de visualização proposto e suportar a análise dos deslocamentos das viaturas por períodos variados de tempo, faz-se necessário a concepção de uma métrica para classificar, de forma automática, as rotas das viaturas, independente da duração da janela de tempo utilizada na análise. Esta métrica deverá permitir mensurar a qualidade do policiamento sobre curtos e longos espaços de tempo.

Neste sentido, foi proposto um sumário descritivo para qualificar a interação de uma rota sobre determinado evento formalizando um conceito espaço-temporal dependente. O sumário se baseia no conceito de classificação de rotas apresentado e visa diminuir a complexidade de análise através de uma classificação automatizada dos dados, gerando um valor numérico que representa a qualidade da rota em relação aos eventos.

### 3.3 SUMÁRIO DESCRITIVO PARA CLASSIFICAÇÃO DA ROTA VERSUS OCORRENCIAS CRIMINAIS

O sumário descritivo é um método de análise que objetiva capturar o verdadeiro significado dos dados e representá-lo numericamente. A função principal dos sumários descritivos é reduzir a complexidade dos dados. O resultado de sua aplicação são valores numéricos que sintetizam informações e exprimem tendências e significados (LONGLEY et al, 2005).

O objetivo do sumário proposto é extrair um valor que represente uma relação de qualidade entre a rota da viatura e a ocorrência de um determinado evento criminal. Esta relação de qualidade formaliza a classificação para as rotas das viaturas em relação aos eventos criminais exposta na seção anterior, que resumidamente conceitua quatro relações de qualidade da rota (lugar certo na hora certa; lugar certo na hora errada; lugar errado na hora certa; lugar errado na hora errada) (Figura 3.10).

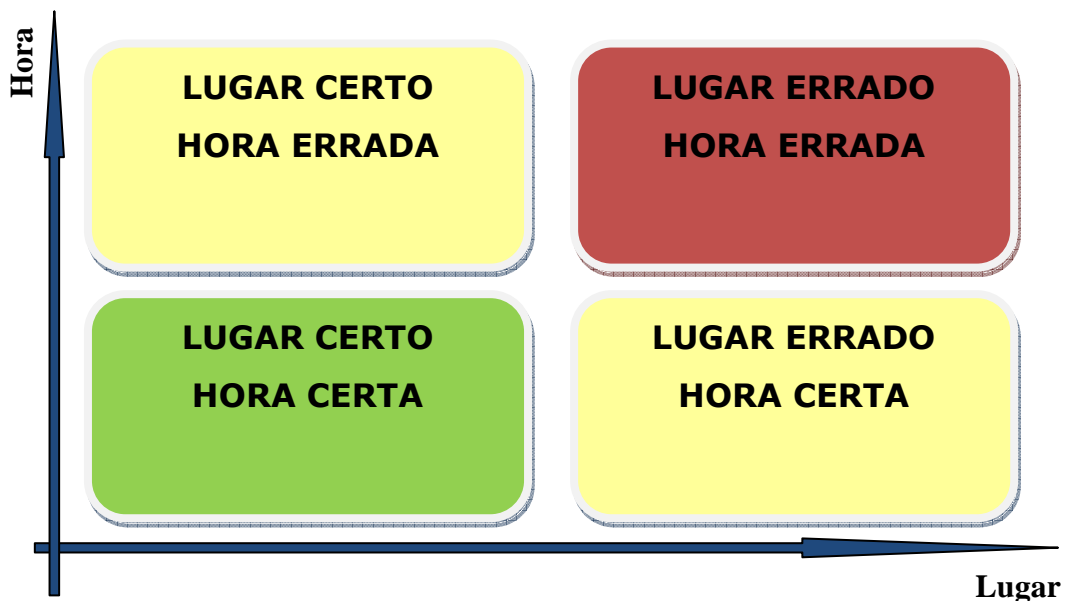


Figura 3.10: Sumário descritivo para classificação rotas versus eventos criminais. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O sumário permite o analista criminal mensurar a qualidade do planejamento de rotas, gerando indicadores de desempenho que vão mostrar se as decisões estratégicas e táticas tiveram efeito real no desempenho esperado para as operações, apontando uma direção que orienta o analista a melhorar sua estratégia ao longo do tempo. O trabalho de análise de rondas policiais pode ser descrito por um ciclo que engloba três etapas: definir estratégia, pôr a nova estratégia em prática e mensurar a qualidade (Figura 3.11). De fato, este ciclo contém os passos básicos para um desenvolvimento progressivo e dinâmico da estratégia de

policciamento. Em um ambiente real, na prática da inteligência policial, estes passos são detalhados e expandidos, contemplando outros aspectos importantes que fogem do escopo deste trabalho.

O passo mensurar a qualidade consiste em classificar a rota ou trechos da rota em uma das quatro categorias. Esse passo pode ser realizado visualmente pelo analista para curtos espaços de tempo ou de forma automática para qualquer espaço de tempo.

A idéia aqui é permitir que o analista processe o histórico de todas as rotas disponíveis de forma automática, identifique as rotas problemáticas e analise trechos fora dos padrões desejados. A análise dos trechos fora da conformidade pode ser feita com auxílio dos mapas estáticos de deslocamento de viaturas e ocorrências policiais.

O segundo passo, definir estratégia, reflete o trabalho de planejamento de rondas futuras. Com base no histórico de ocorrências policiais, serão definidas estratégias de policiamento com rondas que aproximem ao máximo da classificação Lugar Certo na Hora Certa.

Finalmente, o passo aplicar estratégia refere-se à execução de rondas baseadas na estratégia sugerida pelo analista. Essas rondas deverão ser continuamente avaliadas, reiniciando o ciclo de medição e melhoria da qualidade do policiamento.

Este capítulo trata dos mecanismos para apoio ao passo de mensurar a qualidade das rondas. Os mecanismos de apoio aos demais passos serão discutidos nos próximos capítulos.



Figura 3.11: Ciclo de medição e melhoria da qualidade do policiamento. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O sumário descritivo para qualificação das rotas de viaturas é definido sobre um espaço normalizado (Distância x Tempo) que considera a contribuição da posição e do instante de cada evento policial quando comparado com o percurso de uma viatura (Figura

3.12.a). Cada ocorrência policial gera um ponto no espaço de qualidade do policiamento de coordenadas  $(\delta d, \delta t)$ . A coordenada  $\delta d$  é definida como a menor distância entre o evento policial e um ponto da rota, normalizada pela maior distância entre dois pontos na área de interesse. Para efeitos de simplificação do cálculo de distância, não são considerados ruas ou obstáculos, apenas a distância geométrica entre dois pontos. A coordenada  $\delta t$  é definida como o intervalo de tempo transcorrido entre a ocorrência policial e o instante no qual a viatura ocupava o ponto mais próximo da ocorrência policial, normalizado pela duração da janela de tempo de interesse. O qualificador de rondas é definido pelas coordenadas  $(\Delta D, \Delta T)$  e é calculado pela média aritmética da contribuição de todas as ocorrências policiais ocorridas durante a janela de tempo de interesse (Figura 3.12.b).

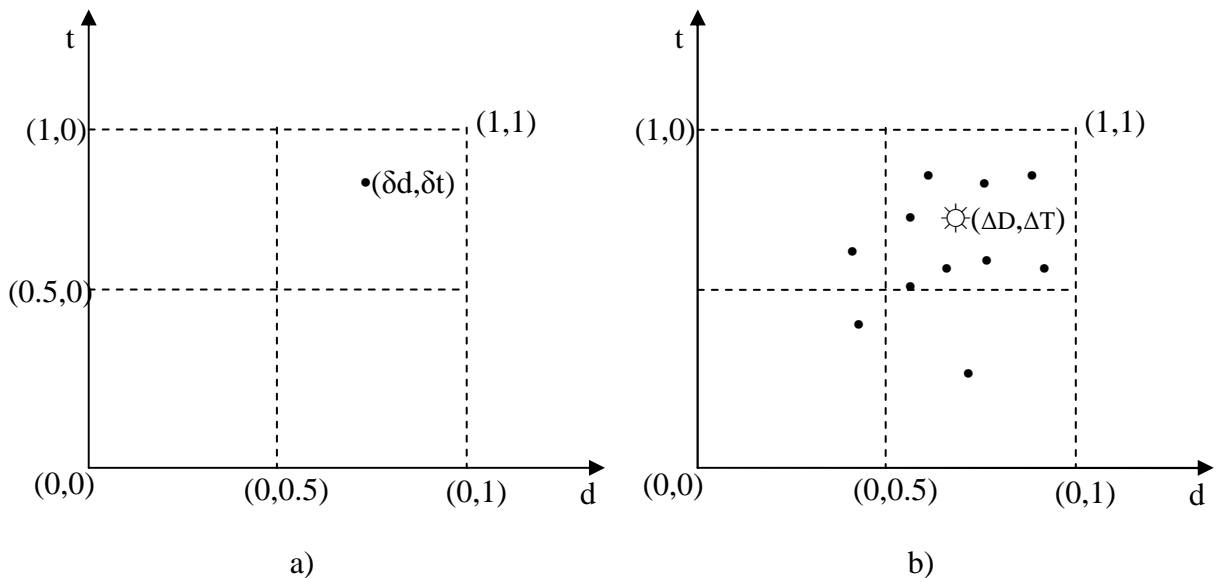


Figura 3.12: Representação do Espaço de Qualidade de policiamento de uma ronda: a) Representação da contribuição de uma ocorrência policial e b) Contribuição de todas as ocorrências policiais e o sumário descritivo qualificador da ronda. Fonte: Elaboração do autor (2008).

De forma a ilustrar a contribuição de uma única ocorrência no cálculo do sumário qualificador da ronda, considere uma região de interesse R (

Figura 3.13) e uma janela de tempo T definida pelos instantes  $(T_1, T_N)$ . A área de interesse pode ser o perímetro de um município, de um bairro, da área de influência de uma Companhia de Polícia ou de uma área qualquer definida pelo usuário. A janela de tempo é o intervalo de tempo sobre o qual será realizada a análise. Este intervalo de tempo pode variar de horas até meses ou anos.

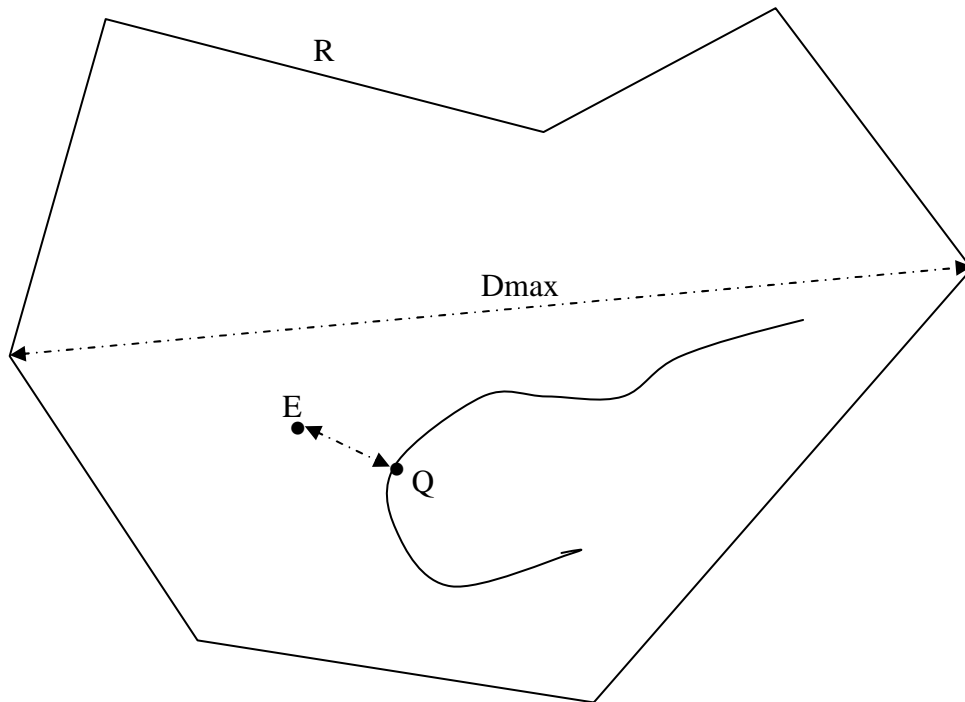


Figura 3.13: Representação de uma ronda e uma ocorrência policial em uma região de interesse. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Considere agora o percurso de uma ronda policial P dentro da região interesse que se iniciou e finalizou nos instantes  $T_a$  e  $T_b$ , respectivamente, e a posição de uma ocorrência policial E que ocorreu no instante  $T_c$  (

Figura 3.13).

De forma a calcular a qualidade da ronda P com respeito a ocorrência E é necessário identificar um ponto Q no percurso da viatura mais próximo da ocorrência policial e o instante  $T_q$  no qual a viatura ocupou este ponto (

Figura 3.13). Como base nessas informações, calcula-se as coordenadas do qualificador da rota ( $\delta d, \delta t$ ) da ocorrência E da seguinte forma:

$$\delta d = \frac{D_{E-Q}}{D_{max}} \text{ e } \delta t = \frac{|T_c - T_q|}{T_{max}},$$

onde:

$D_{E-Q}$  = distância euclidiana entre a ocorrência policial e o ponto mais próximo da ronda;

$D_{max}$  = distância máxima que pode ocorrer dentro da região de interesse;

$T_c$  = Instante no qual ocorreu a ocorrência policial;

$T_q$  = instante no qual a viatura passou pelo ponto mais próximo da ocorrência policial;

$T_{\max}$  = Duração da janela de tempo.

O valor da componente espacial do qualificador ( $\delta d$ ) caracteriza a ronda quanto ao local (certo ou errado) que a viatura estava da ocorrência policial. Valores próximos de 0 indicam lugar certo, enquanto valores próximos de 1 indicam lugar errado. O valor da componente temporal do qualificador ( $\delta t$ ) caracteriza a ronda quanto ao horário (certo ou errado) da viatura em seu ponto mais próximo da ocorrência policial. Valores próximos de 0 indicam que a viatura estava no local mais próximo no horário no qual a ocorrência foi registrada, enquanto valores próximos de 1 indicam que quando a viatura esteve próxima ao local da ocorrência, este fato ocorreu em um instante bastante diferente de quando a ocorrência policial aconteceu. Assim, a combinação das componentes espacial e temporal do qualificador fornece uma das quatro possíveis classificações para a rota com respeito à ocorrência policial E:

- a) Lugar Certo na Hora Certa;
- b) Lugar Certo na Hora Errada;
- c) Lugar Errado na Hora Certa;
- d) Lugar Errado na Hora Errada.

Computando-se a contribuição de todas as ocorrências policiais com respeito a uma determinada ronda e tomando-se a média aritmética desses valores, é possível calcular um valor que caracterize a ronda com respeito a todas as ocorrências que ocorreram na região de interesse dentro da janela de tempo.

Graficamente, as classificações das rotas podem ser identificadas no espaço de qualidade de policiamento. Esse espaço é particionado em quatro regiões, com cada região representando uma das quatro possíveis classificações da rota (Figura 3.14).



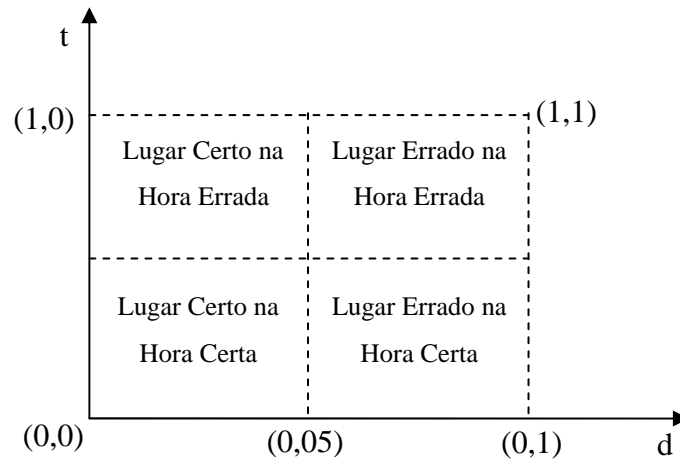
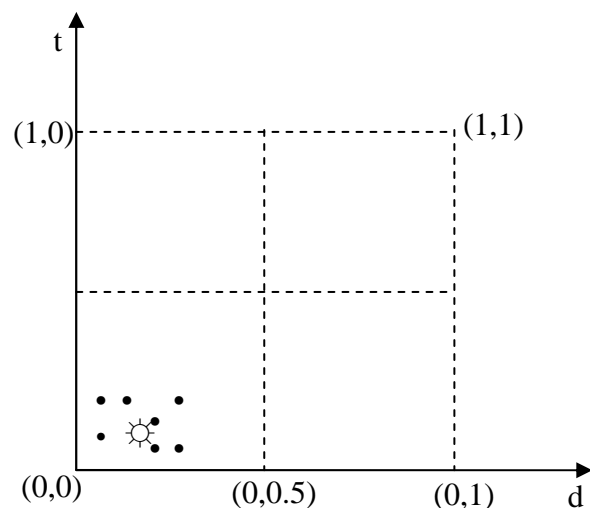


Figura 3.14: Partição do Espaço de Qualidade do policiamento e localização da classificação das rondas policiais. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Aplicando-se a técnica de classificação automática a um exemplo previamente discutido neste capítulo, verifica-se a facilidade de se obter uma classificação para a rota baseado no sumário descritivo qualificador de ronda (Figura 3.15) Neste exemplo, as ocorrências policiais ocorreram espacialmente próximas da rota da viatura. Da mesma forma, a distância temporal entre os eventos e o ponto da rota que mais se aproxima dos eventos também é pequena. Esta configuração gera pontos no espaço de qualidade de policiamento próximos a origem do sistema, indicando que se trata de uma ronda do tipo Lugar Certo na Hora Certa.



a)



b)

Figura 3.15: Mapa e sumário descritivo qualificador de rota para alguns eventos e uma viatura policial. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Analisando o exemplo apresentado, alguém pode se perguntar como as ocorrências policiais aconteceram se as viaturas estavam no lugar certo na hora certa. Existem diversas possibilidades para justificar este fato: a viatura passou muito rapidamente pelos pontos ou os tipos de ocorrências não são inibidos pelo policiamento ostensivo com viaturas. As hipóteses para justificar esta e outras configurações são parte do trabalho do analista policial e fogem do escopo deste trabalho. O que se pretende aqui é fornecer aos analistas ferramentas visuais e numéricas que permitam a construção e verificação de hipóteses e que auxiliem no trabalho de planejamento de rondas policiais.

O planejamento das viaturas no intuito de se obter um policiamento ostensivo mais eficiente não é uma tarefa trivial. A grande dificuldade neste planejamento é atender, dispondo de recursos limitados, o maior número possível de regiões com altas taxas de criminalidade nos horários em que as ocorrências criminais são mais significativas. Desta forma, o analista deve planejar as rotas de maneira a minimizar os custos visando alcançar os pontos de concentração da criminalidade.

As ferramentas de apoio à análise criminal expõem informações relevantes, apóiam a extração e obtenção de conhecimento e validam a qualidade das estratégias aplicadas. Esses mecanismos, entretanto, não preenchem todas as lacunas no planejamento contra o crime. O problema do planejamento de viaturas para atender a eventos criminais se enquadra em uma categoria maior, bastante discutida na literatura e conhecida como Problemas de Roteamento de Veículos.

Visando auxiliar o analista neste planejamento, foi proposta uma solução para o problema de roteamento de veículos obedecendo às restrições e características impostas pelas peculiaridades do planejamento de viaturas para um policiamento ostensivo eficaz e eficiente. Essa solução é discutida nos próximos capítulos.

## 4 PROBLEMA DO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Apesar dos métodos de visualização de ocorrências policiais e deslocamentos das viaturas fornecerem um conjunto de recursos que auxilie a coleta de informações da movimentação das viaturas e melhor planejamento das rotas, esses métodos ainda não são suficientes. O crescimento das cidades em conjunto com o crescimento da criminalidade dificulta um policiamento eficaz. A grande quantidade de eventos criminais com tipificação distintas e distribuídos de forma não trivial sobre extensas áreas torna o planejamento de rondas uma tarefa bastante complexa.

Para tentar minimizar as dificuldades mencionadas e propiciar o emprego racional dos recursos policiais propôs-se uma ferramenta que sugere para o especialista um plano otimizado de policiamento das viaturas. O objetivo da ferramenta é propor rotas, baseadas no histórico das ocorrências criminais, que permita um melhor policiamento ostensivo, guiando as viaturas disponíveis para áreas de maior criminalidade no momento certo do dia.

De forma a alcançar os objetivos propostos para a ferramenta, faz-se necessário discutir o Problema de Roteamento de Veículos com Restrições de Janelas de tempo (VRPTW), que deriva do clássico Problema de Roteamento de Veículos (VRP).

O foco no estudo desta classe de problema se deve ao interesse em minimizar o total de gastos no processo que engloba o transporte (logística) das mercadorias, desde a sua produção até sua venda.

O problema clássico de roteamento de veículos é definido na literatura como o problema de distribuição no qual veículos localizados em um depósito central devem ser programados para visitar e atender a demanda de clientes geograficamente dispersos (LAWLER et al, 1985). Contudo, o problema de roteamento de veículos no mundo real apresenta grande variedade de restrições adicionais e extensões. De forma a contemplar essas distinções é possível classificá-los em diversas categorias e tipos de acordo com as características e restrições presentes nas situações reais de operação.

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Diversos autores propuseram esquemas de classificação para os problemas de roteamento de veículo. Adotou-se aqui um trabalho bastante completo que classifica uma grande variedade de problemas de roteamento e programação de veículos (DESROCHERS; LENSTRA; SAVELSBERGH, 1990). Vale ressaltar que a classificação escolhida provê suporte ao

desenvolvimento de modelos para resolução dos problemas de roteamento, além de dar diretrizes para uma representação teórica do problema real, possibilitando uma escolha apropriada do algoritmo a ser utilizado. Os principais parâmetros abordados neste esquema estão classificados em quatro categorias:

- a) endereço (Área de Policiamento);
- b) veículo (Viatura);
- c) características do problema;
- d) função objetivo.

A categoria Endereço define as características que podem ser associadas a um único endereço, isto é, as características da área geográfica de interesse do problema. Para o nosso trabalho os endereços são áreas de policiamento e deverão estar localizados sobre uma rede ou grafo. A categoria Endereço é subdividida em quatro subgrupos:

- a) número de depósitos;
- b) tipo de demanda;
- c) restrições de programação dos endereços;
- d) restrição de seleção dos endereços.

O número de depósitos está associado ao ponto de partida e chegada dos veículos, onde os veículos são preparados para a rota. Contextualizando, os depósitos são as bases de policiamento.

O tipo de demanda corresponde a duas características principais: a necessidade de entrega ou coleta ou, ainda, entrega e coleta e a natureza da demanda, ou seja, se é determinística ou estocástica.

O terceiro campo do endereço especifica as restrições de programação de cada endereço, isto é, as restrições temporais que influenciam no planejamento das rotas. O endereço pode ou não conter restrições temporais. Este item é importante para o nosso trabalho haja vista que as regiões que concentram os eventos criminais possuem informações temporais. Essas restrições temporais são as janelas de tempo, período de maior concentração de eventos criminais. O policiamento ostensivo que ocorre dentro desta janela de tempo será mais eficaz do que o policiamento que é realizado em momentos de menor probabilidade de ocorrência criminal.

O último campo remete às restrições de seleção dos endereços. Existem dois grupos de problemas. O primeiro grupo é dividido em três subgrupos: todos os endereços devem ser

visitados; um dado subconjunto de endereços deve ser visitado e os outros são visitados se for vantajoso; ou os endereços são particionados em subconjuntos e pelo menos um endereço em cada subconjunto deve ser visitado. No segundo grupo, um número de planos é construído para um certo período de tempo, durante o qual os endereços devem ser visitados com uma dada prioridade ou um dada frequência.

A categoria Veículo reflete as características do veículo e o seu comportamento durante a rota. Há três tipos de informações principais nesta categoria: número de veículos, características físicas do veículo e restrições temporais sobre uma rota. A categoria Veículo é dividida em cinco subgrupos:

- a) número de veículos;
- b) restrição de capacidade;
- c) restrição de mercadoria;
- d) restrição de disponibilidade do veículo;
- e) restrição de tempo de duração da rota.

O primeiro subgrupo define a quantidade de veículos disponíveis para o problema. Esta quantidade pode ser limitada ou ilimitada dependendo do contexto. Caso a quantidade de veículos seja limitada a solução do problema pode não atender a demanda de todos os consumidores.

O segundo subgrupo informa sobre a capacidade física do veículo. Para atendimento as demandas, isto é, entrega de mercadorias para muitos clientes em uma mesma rota, é necessário uma capacidade suficiente do veículo. Esta restrição é diretamente proporcional a quantidade de clientes e demandas que poderão ser atendidas sem a necessidade de reabastecimento do veículo. A frota de veículos pode ser homogênea ou heterogênea, ou seja, veículos com capacidade idêntica ou veículos com diferentes capacidades, respectivamente.

O terceiro subgrupo reflete a capacitação do veículo para transportar mercadorias com restrições físicas. Por exemplo, a existência de compartimento especial para transporte e armazenagem de material congelado.

Os últimos subgrupos, quarto e quinto, especificam as restrições temporais: intervalos de disponibilidade do veículo e limites de duração da rota.

A terceira categoria, Características do Problema, define o tipo de rede utilizada, a estratégia de serviço e as restrições nas relações entre os endereços e os veículos. Esta categoria é dividida em cinco subgrupos:

- a) tipo de rede;

- b) tipo de estratégia de serviço;
- c) restrição endereço-endereço;
- d) restrição endereço-veículo;
- e) restrição veículo-veículo.

O primeiro subgrupo informa sobre as propriedades da rede (direcionada, não direcionada, mista) e sobre os pesos das arestas e tempos de viagem.

O segundo subgrupo especifica a estratégia de serviço e é dividido em quatro partes:

- a) possibilidade de quebra ou não da demanda;
- b) entregas diretas ou fracionadas;
- c) necessidade de coleta e entrega ou somente entrega;
- d) possibilidade de mais de um veículo realizar mais de uma rota por período;
- e) permitir rotas multi-depósitos.

O terceiro subgrupo especifica restrições entre endereços. Estas restrições podem assumir múltiplas formas. As formas mais comuns são restrições de precedência ou prioridade, que refletem na ordem de visita dos endereços. Existem também as restrições entre veículos e endereços, quarto subgrupo, que ocorrem quando determinados endereços só podem receber veículos especiais, devido às características de sua demanda.

O último subgrupo define a sincronização dos veículos. É um caso mais complexo, que ocorre quando os veículos podem trocar cargas e devem assistir um ao outro.

A quarta e última categoria, Função Objetivo, especifica os pesos adicionados ao problema para alcançar a solução adequada. Esta categoria é dividida em cinco subgrupos:

- a) duração total da rota;
- b) função custo do veículo;
- c) função custo do endereço;
- d) função penalidade do veículo;
- e) função penalidade do endereço.

A função objetivo se refere às características desejáveis para a solução, definindo penalidades para as soluções intermediárias que não alcançaram as exigências mínimas. A função custo do veículo, por exemplo, define possíveis penalidades que serão aplicadas no caso do veículo extrapolar suas restrições temporais ou espaciais. Na prática os problemas possuem função objetivo composta.

Como se pode notar, existem diversas ramificações e classificações do problema de roteamento de veículos. A análise dessas ramificações permite o melhor entendimento do problema propiciando subsídios para o desenvolvimento de uma ferramenta que se adéque às características do problema.

## 4.2 VARIAÇÕES CLÁSSICAS DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O enfoque desta seção é conceituar o problema de roteamento de veículos e apresentar as suas variações clássicas.

### 4.2.1 Problema do Caixeiro Viajante

O problema do caixeiro viajante *Traveling Salesman Problem* (TSP) é um problema típico de otimização e é frequentemente utilizado para demonstrar problemas de difícil resolução. É possível resgatar sua origem nos problemas desenvolvidos pelo matemático William Rowan Hamilton (1805-1865) que propôs um jogo cujo desafio consistia em encontrar uma rota através de vértices de um decaedro. Neste jogo, o jogador deveria começar e terminar a rota no mesmo vértice e não repetir a passagem por nenhum vértice.

O objetivo do TSP é encontrar um caminho hamiltoniano em um grafo com o menor peso possível (custo) de forma que todos os vértices sejam visitados uma única vez.

Suponha, por exemplo, um caixeiro viajante (veículo) que deseja visitar em um único roteiro, com menor custo (distância) possível, um conjunto de  $N$  cidades (vértices) e que entre os pares de cidades existem rotas (arestas) através das quais ele pode viajar. O problema é baseado em um único depósito e o veículo deve sair e retornar a mesma base. Não existem restrições de capacidade de veículos e a demanda é determinística.

### 4.2.2 Problema de Caixeiros Viajantes Múltiplos

O problema de caixeiros viajantes múltiplos *The Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) é uma extensão do problema do caixeiro viajante. A diferença consiste na quantidade de roteiros, que, ao contrário do TSP, o MTSP contém múltiplos roteiros, um para cada caixeiro viajante. O objetivo do problema é encontrar múltiplos roteiros com menor custo possível, de forma que cada caixeiro visite pelo menos um nó na rede e todos os nós são visitados uma única vez. Da mesma forma que o TSP, o ponto de início e fim devem ser os mesmos e não existem restrições de capacidade de veículos. A demanda também é determinística.

### 4.2.3 Problema de Roteamento de Veículos

O Problema de Roteamento de Veículos (Vehicle Routing Problem - VRP) é uma extensão do problema de múltiplos caixeiros viajantes, acrescentando-se a restrição de capacidade dos veículos e demanda dos vértices. O VRP consiste em um conjunto de cidades (vértices), interligados por estradas (arestas) e por depósitos com veículos com uma determinada capacidade. Cada cidade possui uma demanda a ser atendida. O VRP busca atender a demanda existente minimizando o custo total (distância percorrida, número de veículos, etc.).

O problema de roteamento de veículos tem sido amplamente utilizado em diferentes aplicações sendo, na maioria das vezes, voltadas para a área de transportes (OLIVEIRA, 2007), tais como:

- a) transporte escolar;
- b) distribuição e coleta de dinheiro em caixas eletrônicos;
- c) serviço de entrega de alimentos e restaurantes;
- d) coleta de lixo em centros urbanos.

### 4.2.4 Problema de Roteamento (e Programação) de Veículos com Janelas de Tempo

O problema de roteamento de veículos com janelas de tempo (Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Windows – VRPTW) é derivado do problema clássico de roteamento de veículos (VRP), adicionando restrições temporais.

O VRPTW define que cada consumidor de recursos possui um tempo pré-determinado para ser atendido por um dos veículos da frota. Este tempo pré-determinado, na verdade, é um período com início e término bem definidos, chamado de janela de tempo.

No VRPTW, o veículo só poderá alcançar seu propósito em determinado cliente depois da abertura da janela de tempo. Caso o veículo chegue precocemente ao ponto, este deve aguardar que inicie o período de atendimento (espera), em oposição, caso o veículo chegue após o fechamento da janela o mesmo não poderá realizar o atendimento (atraso). A janela de tempo possui duas variações:

- a) janela de tempo rígida: o veículo nunca pode chegar depois de fechada a janela de tempo;
- b) janela de tempo flexível: o veículo pode chegar depois de fechada a janela, porém uma penalidade seria aplicada a rota.

O VRPTW possui, geralmente, três funções objetivo:



- a) minimização do número de veículos;
- b) minimização da distância percorrida;
- c) minimização do tempo total.

Em função do problema e do resultado desejado, é possível concentrar na solução de apenas uma ou duas funções objetivo ou definir outras que se apliquem ao caso prático. Para o problema tratado neste trabalho, não existe prioridade entre as funções objetivo. O ideal para o problema é, dentro do possível, alcançar as três funções objetivo.

#### 4.3 ESTRATÉGIAS DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VIATURAS

O presente trabalho trata de um problema de roteamento de viaturas para atender pontos de concentração de crimes a partir de uma base de policiamento (depósito) que atenda as restrições espaciais e temporais, com o menor custo possível. Esse problema é classificado como um problema de roteamento de veículos com janela de tempo, onde os pontos de origem e destino são coincidentes (Bases Policiais).

A partir de uma única base de policiamento, que possui múltiplas viaturas, é feito o policiamento ostensivo de N focos criminais. As viaturas possuem custo fixo por viagem. Os conceitos de mercadoria sobre a demanda de cada cliente são desprezados pelas características do problema.

Para cada dia existe uma análise estatística dos eventos criminais, traçando o perfil espacial (ponto central dos eventos) e temporal (período em que os eventos se concentram). A partir desta análise o objetivo é decidir como alocar as viaturas, determinando quais são os focos criminais que serão visitados por cada rota. O resultado deste problema determinará a quantidade de endereços que serão visitados, o tempo de início de cada rota e o menor caminho possível para alcançar os diversos pontos de visita, de forma a minimizar o custo total de policiamento. As principais restrições são:

- a) atender ao maior número de focos criminais;
- b) respeitar as restrições temporais de cada foco criminal.

Pode-se classificar o problema, segundo (DESROCHERS; LENSTRA; SAVELSBERGH, 1990) da seguinte forma:

- a) endereço:
  - número de depósitos: um;

- tipo de demanda: localizada em nós, somente entrega (uma visita), determinística;
  - restrições de programação de endereços: múltiplas janelas de tempo;
  - restrição de seleção de endereços: maior quantidade possível de visitas;
- b) veículo:
- número de veículos: limitado;
  - restrição de capacidade: não;
  - restrição de mercadoria: não;
  - restrição de disponibilidade do veículo: não;
  - restrição do tempo de duração da rota: sim.
- c) característica do problema:
- tipo de rede: lei dos Haversines, rede não direcionada;
  - tipo de estratégia de serviço: entrega direta, somente entrega, o veículo realiza uma rota por período, utilização de apenas um depósito;
  - restrição endereço-endereço: restrição de prioridade entre endereços;
  - restrição endereço-veículo: tempo de serviço (tempo de permanência do veículo no endereço);
  - restrição veículo-veículo: sem restrições;
- d) função objetivo:
- minimizar soma de: visitas perdidas, janelas de tempo quebradas, veículos utilizados, custo sobre a distância percorrida, tempo total da rota.

É possível perceber que o problema está fortemente ligado à classe VRPTW, possuindo a restrição temporal materializada nas janelas de tempo. Dentro da classe VRPTW aplicou-se a solução sobre janelas de tempo rígidas, já que a viatura apenas necessita visitar focos criminais nos momentos adequados, otimizando o policiamento. O objetivo do problema não é visitar todos os focos criminais, mas visitar a maior quantidade de focos em momentos restritos.

#### 4.4 COMPLEXIDADE DO PROBLEMA E ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

A Teoria da Complexidade Computacional é o ramo da Computação que estuda o grau de dificuldade envolvido na resolução algorítmica de classes de problemas. Os recursos comumente estudados são o *tempo* (tempo – real – necessário à execução do algoritmo) e o *espaço* (quantidade de memória utilizada para resolver um problema).

A complexidade computacional, objeto de estudo da Teoria da Computação, é medida segundo um modelo matemático que supõe que o algoritmo vai trabalhar sobre uma entrada de tamanho  $N$ . A complexidade de um algoritmo consiste, portanto, no comportamento do algoritmo para a resolução de determinado problema, levando-se em consideração o número de operações necessárias para tal fim.

A complexidade pode ser qualificada quanto ao seu comportamento como polinomial ou exponencial. Quando, para determinado problema, existe um algoritmo polinomial para sua solução, isto é, a medida que a entrada  $N$  aumenta o tempo do algoritmo aumenta linearmente, pode-se classificá-lo como um problema de classe  $P$  (polinomial). Por outro lado, alguns problemas só podem ser resolvidos em tempo exponencial. Os problemas que só possuem solução em tempo exponencial pertencem à classe  $NP$ -difícil (BODIN et al, 1983).

Hoje em dia, as máquinas resolvem com eficiência problemas mediante algoritmos que têm no máximo uma complexidade ou custo computacional polinomial. Entretanto, existem problemas conhecidos que não possuem solução exata em tempo razoável. Como exemplo, tem-se o “Problema do Caixeiro Viajante”, que pertence à classe  $NP$ -difícil.

Os problemas de roteamento de veículos variam quanto a sua complexidade, dependendo do número de variáveis e restrições que o problema considera em sua formulação. Esses problemas são classificados e bastante estudados na área da otimização combinatória, ramo da Ciência da Computação e da Matemática Aplicada que estuda problemas de otimização em conjunto finitos. A complexidade de problemas de roteamento de veículos é, em sua grande maioria,  $NP$ -difícil, pois não são resolvidos em tempo polinomial (LENSTRA; KAN, 1981). Portanto, os problemas derivados do VRP, problema de roteamento com janela de tempo (VRPTW), também pertencem à classe  $NP$ -difícil (SOLOMON; DESROSIERS, 1988).

O número de soluções possíveis para o VRP cresce exponencialmente de acordo com o crescimento da quantidade de pontos de visita. Conseqüentemente, a utilização de métodos exatos, que garantem a solução ótima do problema, não é adequada. Por isso, pouca atenção tem sido dada à busca de soluções ótimas. Por outro lado, abordagens heurísticas dominam as técnicas de solução para os VRPs (SOLOMON, 1987).

Em contraste com os algoritmos exatos, os algoritmos heurísticos e metaheurísticos visam obter uma resposta aceitável em um tempo menor. Este tipo de algoritmo não tem o objetivo de encontrar a solução ótima do problema, mas uma solução considerada suficiente para resolução do problema em tempo polinomial. Os métodos heurísticos não garantem a

solução ótima, mas geralmente resultam em soluções sub-ótimas de grande qualidade, com um esforço computacional menor.

Os métodos metaheurísticos diferem dos heurísticos na amplitude da solução. Uma metaheurística é um método heurístico para resolver de forma genérica problemas de otimização. Metaheurísticas também são aplicadas a problemas que não se conhece algoritmo eficiente. Alguns exemplos de metaheurísticas bem conhecidas são: algoritmos genéticos, *simulated annealing*, GRASP e Busca Tabu (OSMAN, 1993; KONTORAVDIS; BARD, 1995; THANGIAH; OSMAN; SUN, 1994).

É possível identificar uma série de fatores que justificam o uso de heurísticas e metaheurísticas (BREJON, 1998):

- a) os métodos exatos são proibitivos do ponto de vista computacional;
- b) os métodos heurísticos são mais simples, de fácil implementação e utilização e permite uma melhor compreensão das variáveis e dos parâmetros mais importantes do problema;
- c) os dados disponíveis são inexatos ou limitados, de modo que os erros cometidos na obtenção desses dados superam o erro causado pela não-otimalidade;
- d) um modelo mais realista com solução aproximada faz mais sentido que um modelo menos realista com solução ótima;
- e) necessidade de resolver o problema continuamente, o que pode tornar vantajosa a utilização de um procedimento que tenha um menor custo computacional.

#### 4.5 PRINCIPAIS MÉTODOS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM JANELA DE TEMPO

Conforme mencionado anteriormente, o VRPTW pertence à classe de algoritmos NP-difícil. Portanto, encontrar a solução ótima para um número elevado de consumidores é extremamente custoso (impossível em alguns casos). Apresentou-se, portanto uma visão geral dos algoritmos exatos detalhando os métodos heurísticos e metaheurísticos relacionados com o problema em questão. Discute-se a seguir os principais métodos exatos, heurísticos e metaheurísticos que podem ser utilizados na solução VRPTWs.

##### 4.5.1 Métodos Exatos

Os algoritmos exatos possuem uma vantagem indiscutível em relação a outros métodos, possuem a garantia do resultado ótimo do problema tratado. Esses algoritmos, entretanto, possuem a desvantagem de, em alguns casos, não atingirem a solução do

problema. A solução em tempo exponencial para problemas da classe NP, incluso o VRPTW, faz com que esses algoritmos sejam incapazes de chegar a uma solução em tempo hábil, dependendo do número de elementos do problema. Conseqüentemente, apenas problemas com quantidade reduzida de valores de entrada podem ser resolvidos por intermédio dos algoritmos exatos.

O conjunto de problemas testes mais utilizado para avaliar alternativas de solução foi proposto por (SOLOMON, 1987) e é composto de 56 instâncias, cada uma com 3 dimensões diferentes (25, 50 e 100 consumidores) (Quadro 4).

Instâncias de Solomon Classes	Nº de Consumidores	Nº de Problemas	Nº de Prob. Resolvidos	Percentual resolvido
R1: disposição randômica e restrições de carga e janela de tempo apertadas.	25	12	12	100%
	50	12	12	100%
	100	12	9	75%
	<b>subtotal</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>92%</b>
R2: disposição randômica e restrições de capacidade e janela de tempo menos apertadas.	25	11	11	100%
	50	11	7	64%
	100	11	1	9%
	<b>subtotal</b>	<b>33</b>	<b>19</b>	<b>58%</b>
C1: agrupados em sub-regiões e restrições de capacidade e janela de tempo apertadas	25	9	9	100%
	50	9	9	100%
	100	9	9	100%
	<b>subtotal</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>100%</b>
C2: agrupados em sub-regiões e restrições de capacidade e janela de tempo menos apertadas	25	8	8	100%
	50	8	8	100%
	100	8	7	88%
	<b>subtotal</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>96%</b>
RC1 – disposição mista e restrições de capacidade e janela de tempo apertadas	25	8	8	100%
	50	8	8	100%
	100	8	4	50%
	<b>subtotal</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>83%</b>
RC2 – disposição mista e restrições de capacidade e janela de tempo menos apertadas	25	8	8	100%
	50	8	6	75%
	100	8	3	38%
	<b>subtotal</b>	<b>24</b>	<b>9</b>	<b>71%</b>

Quadro 4: Resultados Ótimos obtidos até fevereiro/2005 para instâncias de Solomon do VRPTW. Fonte: (SOLOMON, 1987).

Dentro conjunto de problemas de Solomon, as classes C1 e C2, que representam cenários onde os consumidores estão divididos e agrupados em algumas sub-regiões, não têm sido um grande desafio para métodos exatos ou heurísticos, pois somente a instância C204, um dos problemas que compõe a classe C2, ainda não foi resolvida. Entretanto, os problemas

de disposição randômica, classes R1 e R2, e os mistos, classes RC1 e RC2, são poucos aqueles resolvidos por algoritmos exatos.

Nesta categoria é importante destacar o método de geração de colunas para solução do problema de roteamento e programação de veículos com janelas de tempo e frota homogênea (DESROCHERS; DESROSIERS; SOLOMON, 1992). Este método resume o problema em uma matriz cujas linhas correspondem aos consumidores que deverão ser atendidos por uma única rota, uma única vez, e cada coluna corresponde a uma rota viável a pertencer à solução do problema. Os autores estenderam a o método de solução proposto por (SOLOMON, 1987), cujo trabalho só conseguira resolver problemas com até 25 clientes, aplicando técnicas de particionamento de conjunto *Set Partition Problem* (SSP). O maior problema resolvido envolvia 100 clientes e 18 veículos. Através dos resultados obtidos o método desenvolvido representou resultados significativos na contribuição de métodos exatos para resolução de problemas de roteamento com janelas de tempo. Entretanto, apenas resolveram os problemas dos conjuntos R1, C1 e RC1.

Outros trabalhos também contribuíram para o desenvolvimento de métodos exatos para VRPTW. Os métodos mais efetivos utilizaram o algoritmo *branch and cut* e *branch and bound* combinadas com técnicas de geração de colunas e relaxação lagrangeana (BARD; KONTORAVDIS; YU, 2002; BRUCE; ASSAD, 1987).

Para concluir, os métodos exatos apresentam um ótimo desempenho para instâncias de 25 consumidores. Já em instâncias de 50 consumidores, o desempenho depende muito das restrições e dos tipos de problema. De forma geral, exceto na classe de problemas em consumidores agrupados C1 e C2, os métodos exatos obtêm um resultado pouco expressivo com problemas de 100 consumidores (ALVARENGA, 2005).

#### **4.5.2 Métodos Heurísticos**

O termo heurística é derivado do grego *heuriskein*, que significa descobrir ou achar. Ganhou um sentido mais amplo na área da pesquisa operacional. Nesta área, o sentido dado ao termo refere-se a um método de busca de soluções que utiliza conhecimentos específicos do estado atual do problema (instância) para chegar a soluções de forma eficiente e satisfatória.

As heurísticas clássicas surgiram entre os anos de 1960 e 1990. Heurística é uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional relativamente baixo. Esta técnica é capaz de gerar soluções razoáveis e, em alguns casos, garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada. Entretanto, a utilização de

heurísticas clássicas perdeu considerável espaço para as metaheurísticas. As metaheurísticas possuem uma maior facilidade de adaptação, abstração e, em muitos casos, resulta em soluções com qualidade superior, ou seja, os resultados obtidos com a aplicação das metaheurísticas conduzem a resultados mais precisos. As metaheurísticas serão detalhadas posteriormente.

Apesar do surgimento das metaheurísticas, as heurísticas produzem resultados satisfatórios quando comparados com os métodos exatos e foram, por muito tempo, bastante estudadas e aplicadas. Isso explica o porquê dessa técnica ainda ser largamente utilizada em sistemas comerciais e acadêmicos (LAPORTE; GENDREAU; POTVIN, 2000).

Entre os métodos heurísticos, os que mais se destacam na solução de problemas de roteamento de veículos foram o Algoritmo de Economia (*Saving Algorithm*) e as Heurísticas de Melhoria (*Improvement Procedures*).

O algoritmo de economia desenvolvido por (CLARKE; WRIGHT, 1964) talvez seja a heurística mais largamente utilizada para VRPs. A idéia por trás deste algoritmo é unir duas rotas em uma mais econômica. O processo é iniciado com uma solução que possui uma rota para cada consumidor. Na segunda etapa são avaliados os ganhos com a união das rotas utilizando-se a variável de economia.

O algoritmo de economia proposto foi, posteriormente, estendido adicionando restrições de janela de tempo. Esta extensão influencia na orientação da rota devido à incorporação da restrição da janela de tempo. Em segundo lugar é necessário verificar a viabilidade temporal para união de duas rotas, de forma que as restrições das janelas sejam respeitadas (SOLOMON, 1987).

Heurísticas de melhoria para VRP possuem como procedimento básico o mecanismo  $\lambda - opt$ . Este mecanismo opera sobre cada rota dividindo-as em  $\lambda$  segmentos. Em seguida estes segmentos são reconectados de todas as formas possíveis. Enquanto for encontrada uma rota com melhor custo, o procedimento é refeito até não ocorrer melhora (LAPORTE; GENDREAU; POTVIN, 2000).

### 4.5.3 Métodos Metaheurísticos

Metaheurísticas são extensões dos métodos heurísticos. Alguns autores preferem classificar as metaheurísticas como um subgrupo da categoria das heurísticas. De qualquer forma, pode-se definir as metaheurísticas como estratégias de alto nível para condução de um ou mais algoritmos heurísticos secundários na tentativa de solução de problemas de otimização. As metaheurísticas possuem uma concepção genérica o suficiente para serem

estendidas para a resolução de qualquer problema de otimização numérica ou combinatória. O comportamento inteligente, que se constitui em fator potencialmente importante para a busca de boas soluções em problemas complexos, oriundo das metaheurísticas, é geralmente baseado no funcionamento inteligente de sistemas naturais.

Conforme Glover (1986), uma metaheurística se refere a uma estratégia principal que guia e modifica outras heurísticas com o objetivo de produzir melhores soluções, normalmente geradas através de uma busca pela otimalidade local.

Algumas metaheurísticas são baseadas em comportamentos físicos, como é o caso do Recozimento Simulado, que utiliza as regras do equilíbrio de energia alcançado no aquecimento de metais. Outras estratégias bastante utilizadas são: procedimentos com memória adaptativa, busca tabu, busca gulosa adaptativa e randômica, *Greedy Randomized and Adaptive Search* (GRASP), busca de vizinhança variável, algoritmos genéticos, busca disseminada (scatter search) e redes neurais (GENDREAU; LAPORTE; POTVIN, 1999).

Vale ressaltar a existência de algumas características comuns que permite às metaheurísticas alcançar resultados satisfatórios:

- a) utilização de memória para avaliar situações anteriores influenciando em movimentos futuros;
- b) presença de estratégias para guiar e modificar o comportamento de heurísticas subordinadas.

Dentre os principais métodos metaheurísticos utilizados na solução de problemas VRPTW destacam-se as metaheurísticas GRASP (FEO; RESENDE, 1995) e Busca Tabu (GENDREAU, 2002).

A metaheurística GRASP combina heurística gulosa, escolha aleatória e busca local. A heurística gulosa, ou gananciosa, é uma técnica para resolver problemas de otimização, sempre realizando a escolha que parece ser a melhor no momento, fazendo uma escolha ótima local, na esperança de que esta escolha leve até a solução ótima global.

A GRASP é dividida em duas fases. A primeira fase consiste na construção de soluções viáveis. Nesta fase todos os movimentos viáveis são ordenados de acordo com algum critério guloso, em seguida é feita uma escolha aleatória a partir de uma lista restrita previamente montada. Na segunda fase é aplicado algum procedimento de busca local, usado para melhorar a solução.

A GRASP apresenta maior sucesso quando a fase de construção produz soluções mais próximas do ótimo. Em oposição às metaheurísticas busca tabu e recozimento simulado, que



não necessitam de uma boa solução inicial, a GRASP alcança melhores resultados a partir de boas soluções iniciais (FEO; RESENDE, 1995).

A Busca Tabu (BT), conhecida também por Pesquisa Tabu ou Tabu Search, é uma metaheurística de otimização matemática originalmente proposta por (GLOVER, 1986). A BT pertence à classe dos métodos de pesquisa local. O algoritmo de pesquisa local pode ser descrito, de forma geral, como uma pesquisa iterativa que começa por uma solução inicial possível e a aprimora progressivamente aplicando uma série de modificações locais (movimentos). Em cada iteração, a pesquisa move para uma solução melhorada que difere apenas sutilmente da solução anterior (vizinhança). A pesquisa termina quando um ótimo local é encontrado com respeito às transformações que a pesquisa considerou. As soluções geradas pela pesquisa local, a menos que o usuário tenha bastante sorte, são em sua maioria muito medíocres, pois se restringem análises limitadas a pequenas regiões do problema (GENDREAU, 2002).

A BT foi proposta com objetivo inicial de permitir que a pesquisa local superasse o seu grande inconveniente, gerar soluções baseadas apenas em ótimos locais. O princípio básico deste método é utilizar a pesquisa local até encontrar um ótimo local. A partir deste ponto são permitidos movimentos que não melhorem imediatamente a solução, possibilitando escapar dos mínimos locais. Mas para evitar buscas repetidas em locais já visitados é utilizada uma lista, uma memória das soluções já encontradas no espaço da busca. A esta lista dá-se o nome de lista tabu.

Enquanto os movimentos são executados, os atributos particulares são registrados na *lista tabu*, permanecendo lá por um número específico de iterações, *período tabu*. O movimento não pode ser realizado enquanto for tabu, a menos que a restrição tabu for afastada por algum objetivo útil, chamado de *critério de aspiração*. O propósito básico da lista tabu é evitar a visita de soluções pretéritas e forçar a pesquisa em áreas inexploradas.

Em resumo, a BT permite que a busca realize movimentos para pontos com custo deteriorado, mas não proibidos, escapando das desvantagens da pesquisa local. Estes movimentos ocorrem quando toda a vizinhança possui custo mais elevado ou toda a vizinhança de melhor custo se encontra na lista tabu. Extensões do algoritmo podem conter outras listas contendo soluções proibidas devido aos critérios adotados ou movimentos ilegais no contexto do problema.

Bons resultados foram encontrados para VRPTW utilizando o algoritmo de busca tabu, dentre os principais são (CORDEAU; LAPORTE; MERCIER, 2001; TAILLARD et al, 2002; ROCHAT; TAILLARD, 1995).

Em grande parte dos casos, os métodos descritos provêm soluções muito próximas da solução ótima e são considerados entre os métodos mais efetivos. Esses fatores tornaram a BT extremamente popular. Entretanto, apesar da abundante literatura, ainda existe muitos pesquisadores que encontram dificuldades para aplicar a BT em novos problemas e gerar resultados satisfatórios, encontrando dificuldades para entender os fundamentos básicos inerentes ao método (GENDREAU, 2002).

A aplicação da BT para VRP e VRPTW tem refletido bons resultados para os inúmeros trabalhos que propuseram soluções para esta classe de problemas. Atualmente, as implementações de BT mais bem sucedidas são consideradas as soluções mais eficazes para o problema de roteamento. De acordo com (LAPORTE, 1992), apesar da grande variedade de técnicas para resolver o VRP e o TSP, nenhuma delas conseguiu ser, de forma geral, tão efetiva quanto a BT.

## 5 OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE VIATURAS

Definir uma estratégia, formulando ações para atividades de médio e longo prazo, que conjugue os recursos humanos e materiais de forma a atingir os fins desejados precede a realização de um policiamento bem sucedido. Porquanto, para articular ações estratégicas orientadas e seqüenciadas para diminuição da criminalidade é imprescindível possuir informações relevantes que auxiliem a realização dos objetivos.

A Análise Criminal tem o papel de revelar com clareza as características do crime e questões conexas, com o intuito de produzir conhecimento específico para a gestão da segurança pública. O analista criminal deve buscar padrões e tendências criminais que, depois de identificados, devem ser disseminados por toda a organização.

“A Análise Criminal é um conjunto de processos sistemáticos (...) direcionados para o provimento de informação oportuna e pertinente sobre os padrões do crime e suas correlações de tendências, de modo a apoiar a área operacional e administrativa no planejamento e distribuição de recursos para prevenção e supressão de atividades criminais, auxiliando o processo investigativo e aumentando o número de prisões e esclarecimento de casos. Em tal contexto, a análise criminal tem várias funções setoriais na organização policial, incluindo a distribuição do patrulhamento e pesquisa, prevenção criminal e serviços administrativos.” (GOTTLIEB, 1994).

É importante salientar a importância dos SIGs no auxílio aos processos de responsabilidade da Análise Criminal. As ferramentas computacionais que se utilizam de técnicas de georeferenciamento e mapeamento da criminalidade são ferramentas poderosas na construção de conhecimento, necessárias para nortear ações de segurança pública.

Neste sentido, foi proposta uma ferramenta para auxiliar o analista criminal nas atividades de detecção dos padrões criminais e planejamento de rotas de viaturas. O objetivo da ferramenta é detectar padrões de crimes e, a partir dos padrões detectados, conduzir o planejamento para áreas onde o policiamento deve ser priorizado.

A detecção de padrões proposta é fundamentada na teoria dos pontos quentes cujos critérios de identificação incluem a frequência de ocorrência de crimes e as relações espaciais e temporais entre as ocorrências. Os padrões detectados servirão de base para o planejamento das viaturas, influenciando as rotas de forma a alcançar as áreas de maior criminalidade no momento correto do dia.

A partir dos critérios informados pelo analista, a ferramenta de planejamento estabelecerá uma rota para cada viatura disponível, com o intuito de atender, com maior prioridade, os pontos de concentração criminal. O algoritmo base utilizado para solução do problema foi o Busca Tabu. Este algoritmo foi modificado para atender a restrições e características do planejamento de rotas de viatura que serão discutidas no decorrer do capítulo.

Neste capítulo, são apresentadas as propostas de detecção de padrões criminais e planejamento das rotas de viaturas.

### 5.1 DETECÇÃO DE PADRÕES CRIMINAIS

Os padrões criminais são as características identificáveis que se repetem em dois ou mais eventos criminais, em uma determinada série histórica, e que vinculem, em tese, diversos eventos criminais entre si. A categoria da variável repetida pode ser o dia da semana, hora, local, tipo de vítima, descrição do autor, *modus operandi* ou outra variável qualquer.

A detecção dos padrões criminais é de fundamental importância, pois o conhecimento desses padrões orienta a estratégia para alcançar um melhor policiamento, possibilitando organizar os recursos apropriadamente.

Os padrões criminais podem ser classificados de seis formas distintas (BOBA, 2008):

- a) “*series*”: Vários crimes similares praticados contra um ou várias vítimas ou alvos (Ex. Roubo seqüenciados em determinado ramo comercial);
- b) “*spre*” (Farra): Freqüência alta de ocorrências que aparenta ser atividade contínua, normalmente o autor do crime é único na seqüência criminal (Ex. Furto de vários “cd players” em veículos em um determinado lugar);
- c) “*hot spot*” (Ponto Quente): Localidade de habitual incidência de eventos criminais (Ex. Área residencial que passa a registrar vários furtos em um determinado período);
- d) “*hot dot*” (Entidade Quente): São indivíduos (criminosos, vítimas ou testemunhas) que possuem relação direta com vários eventos criminosos (Ex. O porteiro do prédio que presencia diariamente pequenos furtos a transeuntes em frente à portaria do prédio em que presta serviços);
- e) “*hot product*” (Produto Quente): São produtos que se tornam potenciais alvos criminosos (Ex. Furto de aparelhos celulares de transeuntes nos centros das grandes cidades);
- f) “*hot target*” (Alvo Quente): São locais considerados alvos potenciais de criminosos (Ex. Postos de combustível em determinada cidade).

Dentre as categorias citadas, a identificação de *Hot Spots*, locais de alta densidade de criminalidade, é prioridade para este trabalho por sua relevância no planejamento do policiamento ostensivo. Isto é justificado porque os pontos quentes são regiões pequenas cujas ocorrências criminais são muito freqüentes e, portanto, de grande previsibilidade. Estas pequenas regiões são responsáveis, geralmente, pela maioria das ocorrências criminais em uma cidade. Para determinados tipos de crimes é possível ter uma concentração ainda maior, produzindo até 100% dos eventos criminais (SHERMAN, 1995).

Existem diversas teorias que envolvem o entendimento dos pontos quentes e seus níveis, as mais importantes são descritas a seguir:

- a) teorias do lugar (Place Theories): Explicam porque os eventos criminais ocorrem em lugares específicos. Esta é a forma mais comum e simplificada de pontos quentes;
- b) teorias de ruas (Street Theories): Lidam com crimes que ocorrem em um nível sutilmente mais elevado. São identificados ruas ou segmentos relacionados com a criminalidade;
- c) teorias de vizinhança (Neighborhood Theories): Em um nível ainda maior, lidam com grandes áreas, identificando regiões associadas com a criminalidade;

O entendimento dos diferentes níveis de pontos quentes é importante para identificar corretamente os diversos tipos de crimes e suas tendências. Esse entendimento, entretanto está além do escopo deste trabalho. Este trabalho limita-se à identificação de pontos espaciais, isto é, lugares específicos de ocorrência criminal, aplicando, portanto, as teorias do lugar.

De forma geral, pontos quentes são identificados a partir de três critérios: freqüência, geografia e tempo. A área deve ser pequena e a distância temporal entre os eventos deve ser de até duas semanas (CANTER, 1998).

Além da posição espacial dos pontos quentes a referência temporal é igualmente importante. Os pontos quentes possuem características temporais, já que são formados por eventos que ocorrem em momentos específicos do dia. O ponto quente, para um determinado tipo de crime, pode concentrar-se em um período específico do dia, por exemplo, crime de estupro que ocorre geralmente durante a noite ou no início da manhã. Neste sentido, é possível ter mais de um ponto quente na mesma região com momentos distintos de ocorrência.

No que tange à visualização dos pontos quentes, podemos dividi-la em duas categorias: pontos ou regiões no mapa. A visualização de padrões criminais através de pontos é a forma mais comum (JEFFERIS, 1999). Desenhar pontos em um mapa representando eventos criminais é o método mais simplificado e tradicional, entretanto, interpretar padrões

espaciais e temporais e, conseqüentemente, identificar pontos quentes pode ser bastante árduo, particularmente quando há uma grande quantidade de dados. Considere, por exemplo, a Figura 5.1.a e a Figura 5.1.b. A simples disposição dos pontos no mapa não torna a identificação de aglomerações uma tarefa trivial. A representação de regiões, identificadas previamente por algoritmos e métodos de aglomeração (*clustering*), possibilita a rápida identificação das regiões que possuem maior agrupamento (Figura 5.1.b).

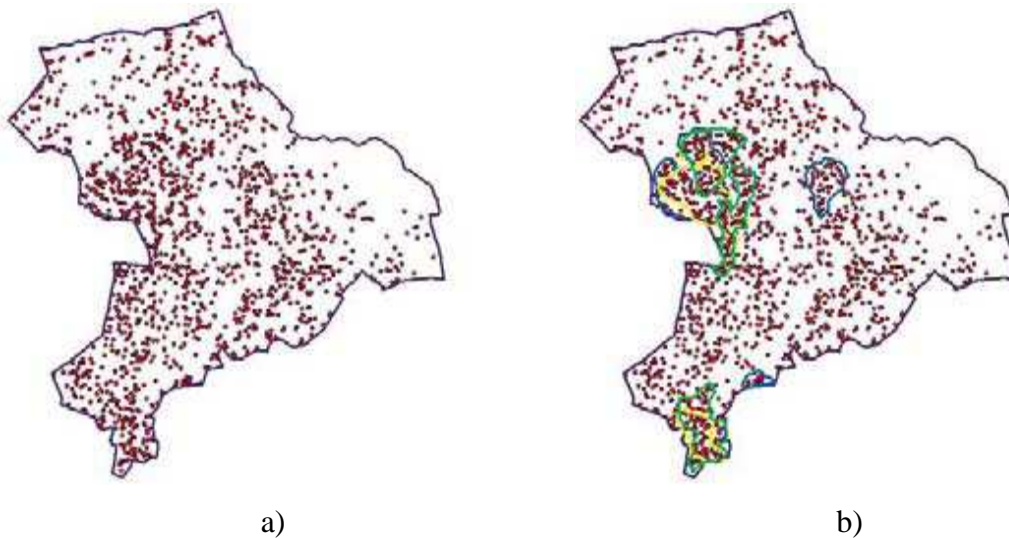


Figura 5.1: Duas formas de apresentação de eventos criminais: a) apresentação de dos eventos através de pontos, b) seleção dos clusters. Fonte: (BOBA, 2008).

### 5.1.1 Formação dos Clusters

Os algoritmos principais para identificação de *clusters* podem ser classificados em: algoritmos hierárquicos (*Hierarchical Clustering Algorithms*) e algoritmos partitivos (*Partitional Clustering Algorithms*) (JAIN; MURTY; FLYNN, 1999).

O mecanismo de aglomeração utilizado pelo algoritmo hierárquico é ilustrado na Figura 5.2.a. A partir do conjunto de dados bidimensional (A, B, C, D, E, F e G) o algoritmo forma um dendrograma (Figura 5.2.b). O dendrograma é um diagrama que organiza determinados fatores ou variáveis, formando uma árvore. Resulta de uma análise estatística dos dados, em que se emprega um método quantitativo que leva a agrupamentos e à sua ordenação hierárquica ascendente - o que em termos gráficos se assemelha aos ramos de uma árvore. O dendrograma resultante pode ser quebrado em diferentes níveis para alcançar diferentes aglomerações dos dados.

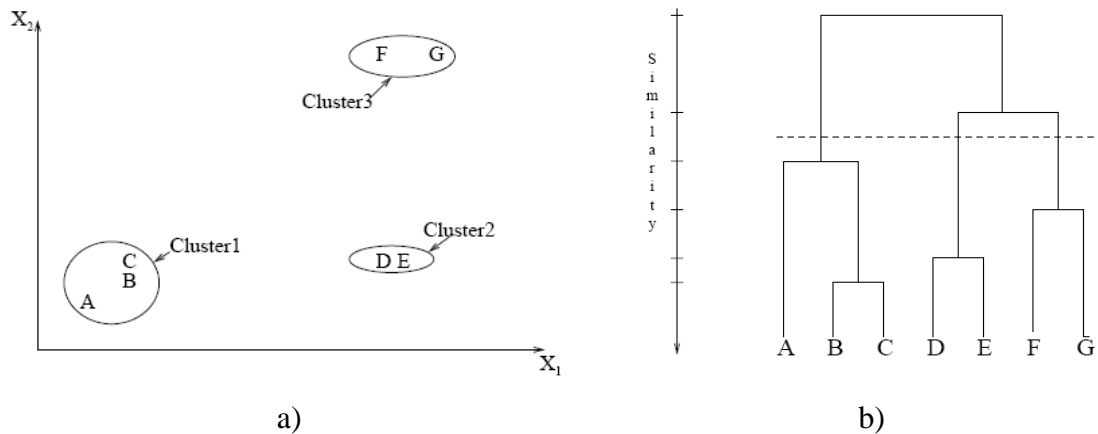


Figura 5.2: Aplicação do algoritmo hierárquico: a) classificação dos pontos em três clustes, b) dendrograma obtido a partir do algoritmo hierárquico. Fonte: (JAIN; MURTY; FLYNN, 1999).

A maioria dos algoritmos hierárquicos é variante dos métodos *single-link* ou do *complete-link*. A diferença entre esses métodos está na forma que cada um caracteriza a similaridade entre um par de clusters. No método *single-link* a distância entre dois clusters ( $c_1$  e  $c_2$ ) é a mínima distância possível entre os componentes de  $c_1$  e  $c_2$ . No método *complete-link*, a distância é definida pela máxima distância entre dois clusters. Portanto, o método *complete-link* resulta em clusters mais compactos e bem conectados. O método *single-link* sofre do problema de sucessivos encadeamentos, isto é, possui a tendência de resultar em clusters muito alongados e desordenados.

O funcionamento destes métodos pode ser exemplificado através da Figura 5.3. Cada figura apresenta dois clusters separados por uma cadeia de ruído (dados irrelevantes). O método *single-link* produz os clusters mostrados na Figura 5.3.a, e o método *complete-link* produz os clusters da Figura 5.3.b. Os clusters resultantes do *complete-link* são visivelmente mais compactos. Embora o método *complete-link* apresente resultados aparentemente melhores, existem trabalhos que relatam a eficácia do método *single-link* para alguns tipos de aglomerações mais específicas.

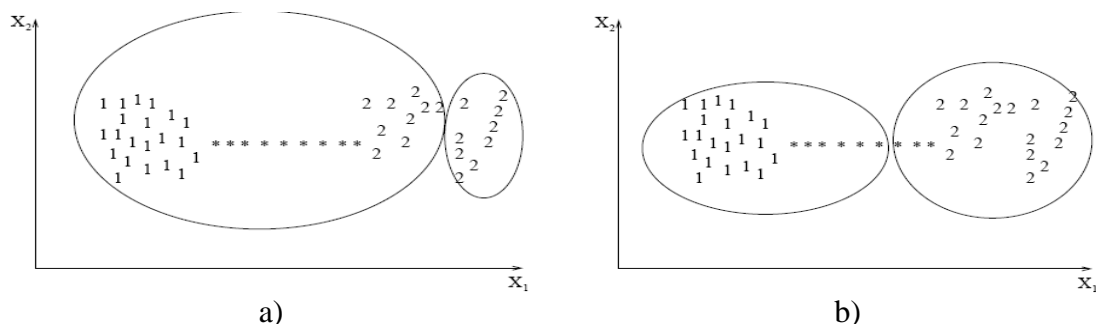


Figura 5.3: Aplicação do algoritmo Hierárquico ao conjunto de dados bidimensional formado pelas classes (1 e 2) conectados por uma cadeia de ruído: a) *Single-Link*, b) *Complete-Link*. Fonte: (JAIN; MURTY; FLYNN, 1999).

Os algoritmos partitivos, por sua vez, obtêm uma partição única dos dados, ao invés de uma estrutura hierárquica como o dendrograma. Esse algoritmo não permite alcançar diferentes clusters a partir de apenas uma análise. Algoritmos partitivos possuem vantagens quando aplicado a um grande conjunto de dados, pois possuem uma complexidade menor. Esses algoritmos, entretanto, possuem uma grande desvantagem para o nosso contexto, pois é necessário informar previamente a quantidade de clusters resultantes e o algoritmo apenas selecionará quais os componentes comporão cada cluster. Um exemplo popular deste tipo de algoritmo é o *k-means* (JAIN; MURTY; FLYNN, 1999).

O algoritmo hierárquico se mostrou mais adequado ao problema de seleção dos pontos quentes, haja vista que produz clusters independentes de uma suposição inicial, focando nas similaridades inerentes aos dados. Foi constatado que a aplicação de métodos partitivos resultava em clusters distantes da semântica esperada, isto é, produzia pontos quentes falsos ou aglomerava diversos pontos quentes em apenas um cluster. A boa atuação dos métodos partitivos necessitaria de análise prévia para extrair dos dados qual seria a quantidade necessária de clusters para que o resultado do método fosse relevante.

### 5.1.2 Distância e Velocidade

A medida de similaridade é fundamental para a definição de clusters. Para dados espaciais, a distância define sua similaridade ou dissimilaridade. A métrica mais popular para medir a distância entre dois pontos é o cálculo de distância Euclidiana.

$$d_2(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2}$$

Para calcular a distância entre pontos distintos do planeta Terra, entretanto, a distância Euclidiana não é uma métrica adequada. A distância entre dois pontos no plano (distância Euclidiana) é bem diferente da distância geodésica entre dois pontos. A distância geodésica é definida como o comprimento do arco que une dois pontos sobre a superfície da Terra. Para calcular de forma aproximada a distância geodésica entre dois pontos pode-se utilizar a fórmula de Haversine. A fórmula de Haversine, apresentada abaixo, pode gerar um erro de até 0,5%, tendo em vista que a fórmula assume que a superfície terrestre é uma esfera perfeita. Este erro é considerado desprezível para o propósito deste trabalho.



$$d((Lat_a, Lon_a), (Lat_b, Lon_b)) = \arccos[\sin(Lat_a) * \sin(Lat_b) + \cos(Lat_a) * \cos(Lat_b) * \cos|Lon_b - Lon_a|]$$

$Lat_a$  = latitude do ponto A (radianos)

$Lon_a$  = longitude do ponto A (radianos)

$Lat_b$  = latitude do ponto B (radianos)

$Lon_b$  = longitude do ponto B (radianos)

A velocidade do veículo não é facilmente mensurável, muitos fatores afetam a sua mobilidade. A velocidade é fortemente influenciada pelo trecho do trajeto, pelo horário do dia e por diversos fatores aleatórios. Neste sentido, optou-se por receber do usuário a velocidade média desejável para a viatura.

O tempo de visita também influencia no tempo do trajeto. Quando a viatura alcança determinada localidade deve permanecer por lá por um intervalo de tempo. Este intervalo pode ser relevante para a estratégia do policiamento. O valor deste intervalo também é fornecido pelo usuário do sistema.

A partir da distância, da velocidade média da viatura e do intervalo de visita da viatura encontrou-se o tempo total do percurso.

### 5.1.3 Clusters Espaciais e Temporais

Para seleção dos pontos quentes, levando-se em conta a distância espacial e temporal, foi implementado o algoritmo hierárquico. Extensões do algoritmo original foram realizadas para contemplar as características temporais dos eventos.

A distância espacial entre os eventos é calculada através da fórmula geodésica. Foram desenvolvidos os métodos *single-link* e *complete-link*, ficando a critério do analista a escolha do método utilizado no algoritmo hierárquico.

A distância temporal considera a distância dos eventos no intervalo de 24 horas. Para cada par de eventos (e1, e2), recupera-se o instante (hh:mm:ss) de ocorrência e calcula-se a distância temporal entre os eventos.

O funcionamento do algoritmo leva em conta dois critérios de parada, o espacial e o temporal. O dendrograma é formado até que o critério de distância máxima temporal ou espacial seja alcançado. Vale ressaltar que o cálculo de distância difere de acordo com o método de similaridade escolhido.

O algoritmo implementado tem como resultado clusters espaço-temporais, ou seja, cada cluster possui uma quantidade de eventos que possuem similaridades espaciais e temporais.

#### **5.1.4 Prioridade do Policiamento nos Hot Spots**

Os clusters espaço-temporais detectados através do algoritmo hierárquico são possíveis *Hot Spots*. Considerando que os *Hot Spots* possuem relevância maior que os eventos criminais isolados, definiu-se que os clusters identificados pelo algoritmo hierárquico implementado devem ter maior prioridade no planejamento das rotas das viaturas disponíveis. Neste sentido, para cada cluster identificado, a área correspondente terá prioridade no algoritmo de roteamento.

#### **5.1.5 Janelas de Tempo e Tempo de Visita**

As janelas de tempo serão definidas para os eventos criminais e para os clusters, pontos quentes de interesse do policiamento ostensivo. A janela de tempo deve refletir a estratégia de policiamento adequada para cada localidade, tipo de crime ou dispersão temporal dos eventos e o horário de ocorrência dos eventos que compõem o cluster. A janela de tempo corresponde às restrições temporais fornecidas ao algoritmo de roteamento. O analista pode, ao seu juízo, modificar a duração da janela de tempo.

Para o cálculo da janela de tempo do cluster é necessário encontrar a média temporal dos eventos que o compõe. A partir deste valor será definida a janela de tempo da mesma forma que ocorre nos eventos.

O tempo de visita é o intervalo de tempo que a viatura deve permanecer no local. Este intervalo também faz parte da estratégia de policiamento e deverá ser fornecido. A escolha de um intervalo grande pode afetar a rota, já que diminuirá o tempo de trabalho da viatura e pode impedir que ela chegue a determinado endereço cuja janela de tempo já tenha se fechado.

#### **5.1.6 Apresentação dos Hot Spots**

Apresentar os Hot Spots detectados é importante, pois auxilia o usuário a validar os clusters identificados e identificar quais parâmetros devem ser modificados para alcançar uma melhor qualidade dos clusters, ou seja, clusters que representam de forma fidedigna a distribuição da criminalidade.

Os métodos implementados para a formação de clusters foram: o método *single-link* e o método *complete-link*. O analista, de acordo com as características do problema, poderá aplicar um dos dois métodos e encontrar a formação de clusters propícia.

Para citar alguns exemplos de como funciona a apresentação dos clusters e como os métodos interferem na formação dos clusters, considere a Figura 5.4. A partir dos eventos selecionados de uma base de dados, foi aplicado o método *single-link* para a distância e para o tempo. A distância espacial foi 1 quilômetro e a distância temporal de 300 minutos. Pode-se perceber que os *Hot Spots* ficaram bastante alongados, consequência do método *single-link*.

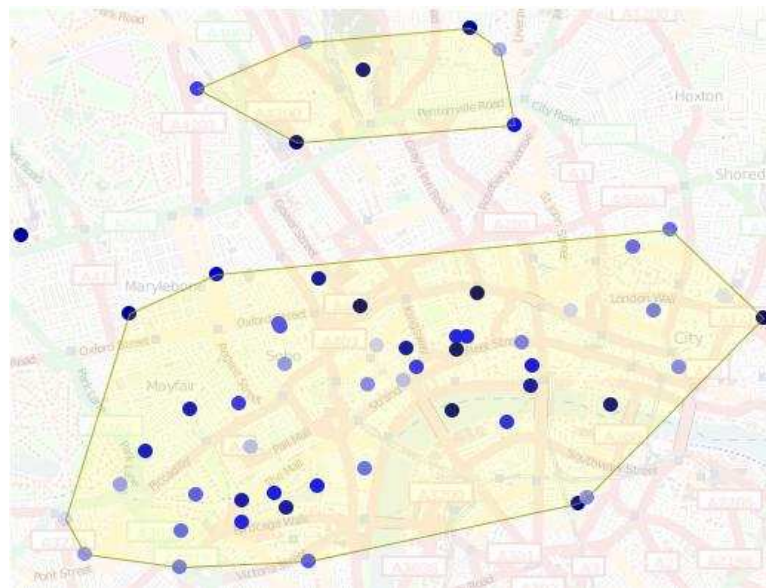


Figura 5.4: Hot Spots (Km. Distance = 1; Minutes Distance = 300; Distance Method=single-link; Time Method=single-link). Fonte: Elaboração do autor (2008).

A Figura 5.5 apresenta os mesmos eventos da figura anterior. Entretanto, agora se definiu o método temporal *complete-link* para formação dos clusters. Pode-se perceber que os clusters ficaram mais compactos, diminuindo a distância temporal entre os componentes do *Hot Spot*. Neste exemplo, a distância temporal máxima entre todos os eventos de um mesmo *Hot Spot* é, também, de 300 minutos.

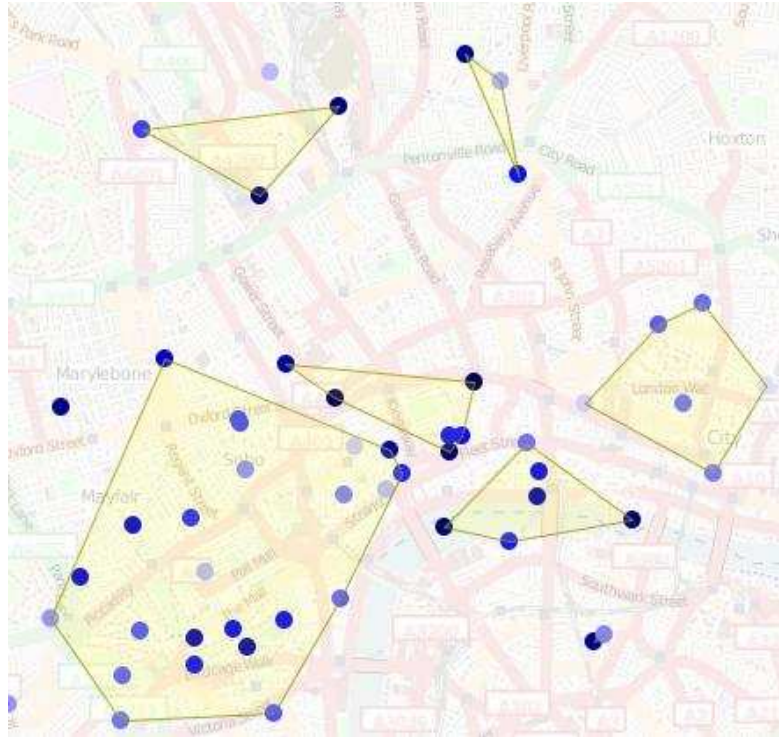


Figura 5.5: Hot Spots (Km. Distance = 1; Minutes Distance = 300; Distance Method=single-link; Time Method=complete-link). Fonte: Elaboração do autor (2008).

A Figura 5.6 apresenta o resultado do método de *Hot Spots* para o método *complete-link* temporal e espacial. Percebe-se que os clusters ficaram muito mais compactos. As distâncias máximas foram respeitadas.

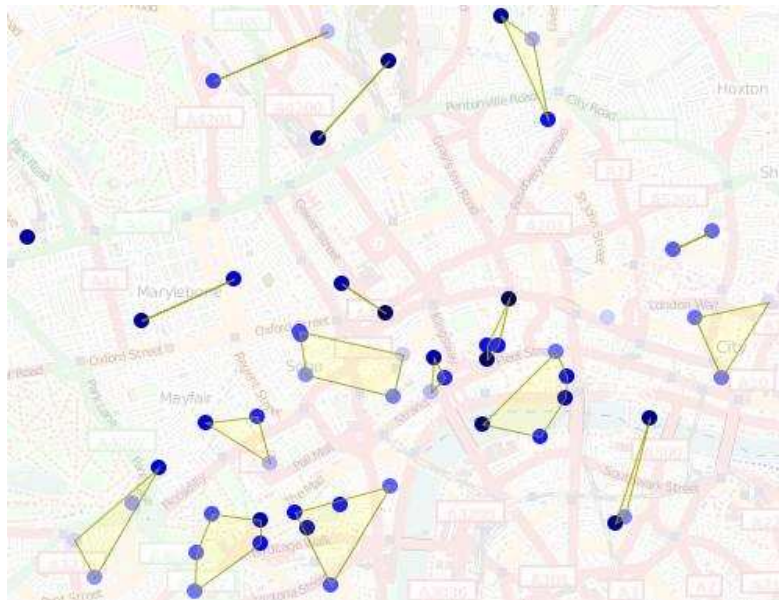


Figura 5.6: Hot Spots (Km. Distance = 1; Minutes Distance = 300; Distance Method= complete-link; Time Method=complete-link). Fonte: Elaboração do autor (2008).

## 5.2 PLANEJAMENTO DAS ROTAS DE VIATURAS

Uma vez detectados os pontos de concentração de crimes, pode-se proceder ao cálculo das rotas das viaturas. O algoritmo metaheurístico, Busca Tabu, foi utilizado para propor soluções de rotas que partam da base e visitem o maior número de clusters, sempre respeitando suas restrições espaciais e temporais. A solução que apresentar o maior número de pontos visitados e o menor custo é escolhida pelo algoritmo e proposta ao usuário.

O algoritmo para o planejamento das rotas implementado estende o modelo Universal Vehicle Router (UVR). O UVR é um arcabouço personalizável para solução de problemas de roteamento de veículos; provê meios para auxiliar a construção de ferramentas mais complexas abstraindo os conceitos básicos, comuns a todos os problemas de roteamento de veículos. Suas principais funções são: encapsular as estruturas básicas fornecendo as classes abstratas e interfaces necessárias; e transmitir os dados do problema para o método de solução, que, por sua vez, tem o objetivo de solucionar o problema (O'ROURKE et al, 2001).

A arquitetura do módulo de planejamento de rotas de viaturas é formada pelas seguintes camadas: Planejamento de Rotas de Viaturas, UVR e Solucionador (Figura 5.7). As camadas trocam mensagens e informações entre si, trabalhando em conjunto para solução do problema do planejamento. A camada UVR interage com a camada de planejamento e com a camada do solucionador e tem como principal função supervisionar as soluções geradas pelo solucionador para atender os requisitos impostos pela função objetivo da camada superior. As camadas atuam reciprocamente através de padrões atuais de projeto e técnicas de orientação a objetos.

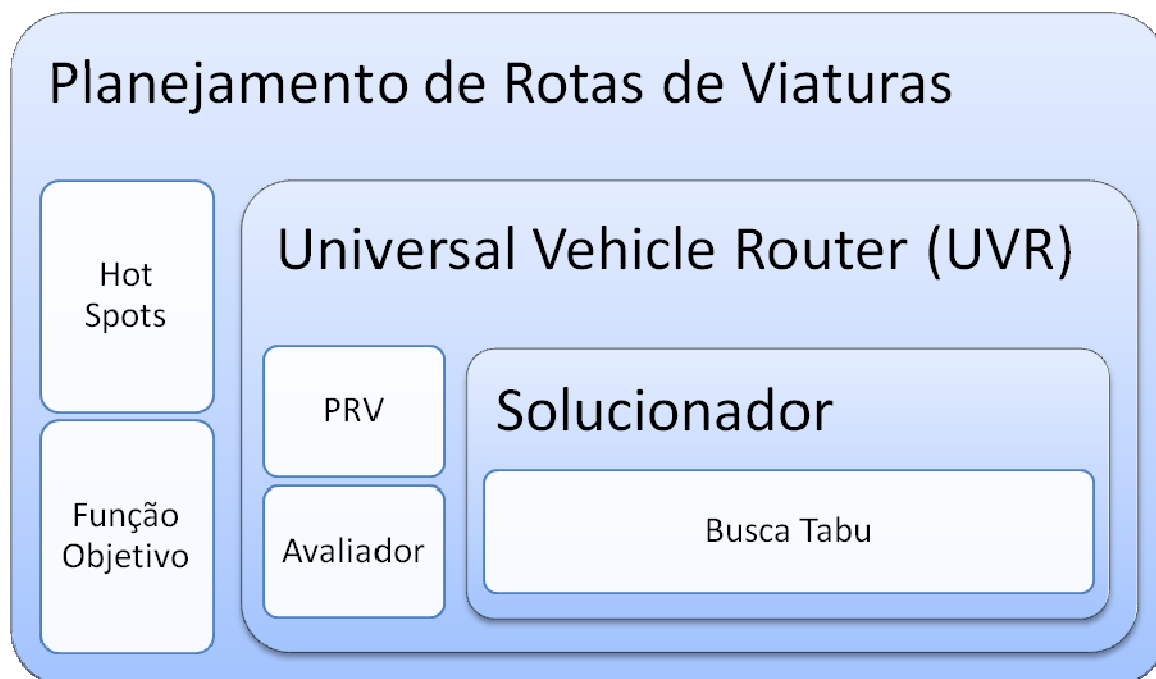


Figura 5.7: Camadas da arquitetura do módulo de planejamento de rotas de viaturas. Fonte: Elaboração do autor (2008).

A Análise Criminal, como um todo, necessita de ferramentas que tenham como foco a facilidade de reutilização dos módulos e camadas, evitando retrabalho na construção da ferramenta. Neste tipo de arquitetura o desenvolvimento da ferramenta se torna mais ágil e seguro, sem recriar técnicas que já foram estudadas e testadas exaustivamente em outros ambientes. O desenvolvimento de uma arquitetura baseada em reutilização de camadas possibilita repartir as competências do projeto em diversas equipes de desenvolvimento, alcançando os resultados esperados em menor tempo.

Desenvolver uma arquitetura baseada em camadas, entretanto, demanda um profundo entendimento do problema a ser solucionado. O responsável pela arquitetura deve identificar os elementos de cada camada e como esses elementos vão interagir durante a execução da ferramenta. Cada camada deve definir interfaces de comunicação, pois assim tornam-se mais genéricas e reutilizáveis.

Far-se-á, nesta seção, o estudo das contribuições da ferramenta e das camadas da arquitetura.

### 5.2.1 Camada UVR

O UVR tem seu nome fundamentado na sua habilidade de resolver uma grande variedade de VRPs. O UVR identifica os elementos em comum entre os diversos tipos de VRPs e encapsula os conceitos principais, ou seja, constrói uma camada de abstração que

esconde os detalhes de implementação e permite que aplicações mais complexas sejam desenvolvidas.

Os componentes, de alto nível, implementados pelo UVR são *Order* (Endereço ou consumidor) e *Vehicle* (Veículo), com seus respectivos controles (Quadro 5). Como se pode perceber, já existe suporte nativo a janelas de tempo e prioridade, informações de bastante interesse para a solução do problema abordado neste trabalho. Para cada endereço é possível definir uma janela de tempo com o tempo mínimo de chegada e o tempo máximo de saída e sua respectiva prioridade cujo valor menor define maior prioridade.

Componentes	Informações e Controles
Order (Endereço)	Tempo mínimo de chegada, tempo máximo de saída, prioridade, tipo
Vehicle (Veículo)	Alcance, tempo mínimo de saída, tempo de serviço, tempo de viagem entre os endereços, penalidade entre os endereços, capacidade

Quadro 5: Informações e controles utilizados pelo UVR. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Os componentes *Order* e *Vehicle* são traduzidos de forma a serem entendidos pela camada do solucionador. O UVR armazena as informações das soluções organizando de forma lógica para que cada instância da solução contenha os veículos e os endereços incluindo os veículos utilizados e não utilizados e os endereços visitados e os não visitados. A Figura 5.8 apresenta a estrutura da solução do UVR.

Em cada execução podem ser geradas zero ou mais soluções, viáveis ou não. Cada solução contém uma lista de rotas, que representa o deslocamento de um determinado veículo, os custos associados à solução e o status (viável ou não viável). Cada rota possui um conjunto de atributos, representando a hora de partida, a hora de chegada, o tempo total gasto na rota e o tempo total que foi gasto nas visitas. A rota possui um conjunto de pontos que foram visitados pelo veículo.

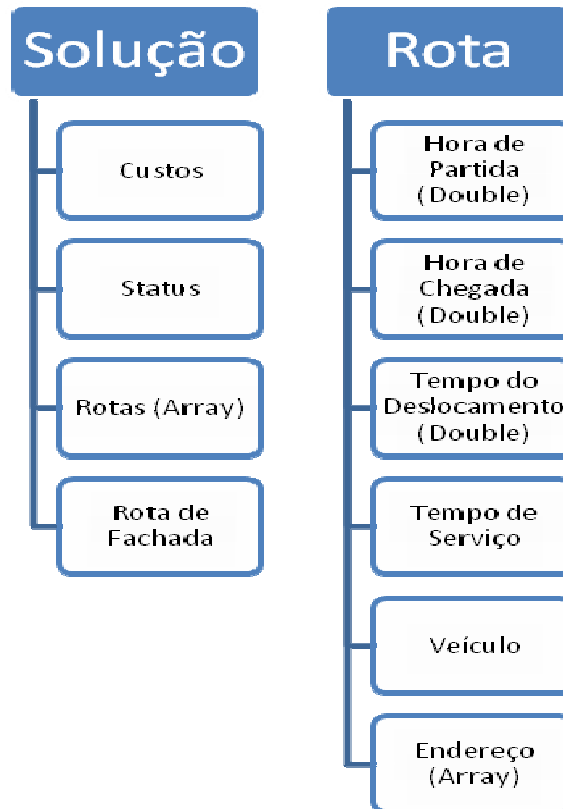


Figura 5.8: Estrutura da solução no UVR. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Os custos relacionados à solução podem mudar de acordo com a função objetivo, quanto maior o custo, pior é a solução, de acordo com os critérios definidos. O UVR permite o desenvolvedor definir uma função de avaliação que determina a qualidade da solução. O avaliador deve conter uma lista de todos os objetivos a serem minimizados.

### 5.2.2 Camada Solucionador

Existem diversas técnicas para solucionar o problema de roteamento de veículos. O UVR provê uma interface que permite que diferentes técnicas possam ser utilizadas para resolver o problema. O solucionador recebe um conjunto de Endereços e Veículos e passa os dados para o algoritmo de solução utilizado.

O algoritmo para solução do planejamento de rotas de viaturas escolhido foi a Busca Tabu. Esta escolha se deve ao fato de que a BT tem sido largamente utilizada para solução do VRP e VRPTW, apresentando ótimos resultados. As novas implementações de BT são consideradas as mais eficazes para o problema de roteamento (LAPORTE, 1992).

A implementação da BT utilizada foi a OpenTS (HARDER, 2008). Esta é uma implementação em Java do Busca Tabu bastante genérica, que já foi utilizado por outros



projetos (CULLENBINE, 2000; HALL, 2000; CALHOUN, 2000). A BT implementada pelo projeto OpenTS é composta de três principais objetos:

- a) gerenciador de movimentos;
- b) função objetivo;
- c) lista Tabu.

O gerenciador de movimento determina em cada iteração qual movimento deve ser gerado. Cada movimento altera a solução corrente, gerando uma nova solução, que, por sua vez, é avaliada de acordo com a função objetivo. Todos os possíveis movimentos para a solução corrente são avaliados e o melhor movimento é escolhido para a nova solução. Quando a BT considera um novo movimento, ele é verificado na lista tabu. Se o movimento é declarado “tabu” ele não é executado, a menos que seja a melhor solução conhecida. Os movimentos selecionados em cada iteração são registrados na lista tabu. O ciclo básico de execução da BT é composto por cinco passos distintos (Figura 5.9).



Figura 5.9: Ciclo básico da Busca Tabu. Fonte: Elaboração do autor (2008).

### 5.2.3 Camada Planejamento de Rotas de Viaturas

O algoritmo de roteamento de viaturas proposto estende as classes do UVR aplicando as características inerentes ao contexto da segurança pública. Esta camada não considera

como os dados serão apresentados para o usuário, mas como os dados sobre o problema são armazenados e manipulados. Esta seção detalha os componentes implementados pela ferramenta (Quadro 6).

<b>Componentes</b>	<b>Informações</b>
Evento Criminal	Nome, tipo, latitude, longitude, prioridade, tempo de visita, tempo mínimo de chegada, tempo máximo de chegada
Base	Nome, latitude, longitude
Viatura	Nome, tipo, velocidade, base
Hot Spot	Nome, lista de latitudes e longitudes que compõem a região geográfica, prioridade, tempo mínimo de chegada, tempo máximo de chegada
Centro	Interage com os diversos componentes, fornecendo uma interface única com a arquitetura
Avaliador	Avalia a solução de acordo com o conjunto de funções objetivo

Quadro 6: Componentes da arquitetura. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O Evento Criminal representa a ocorrência policial. Esta entidade possui a posição espacial e temporal da ocorrência. A prioridade informa a relevância da ocorrência e será levado em consideração pelo algoritmo de busca tabu. A janela de tempo é calculada de acordo com o intervalo especificado pelo analista. Os eventos serão convertidos em *orders* para utilização UVR.

A Base especifica o ponto inicial das viaturas, ou seja, a latitude e longitude iniciais das viaturas.

A Viatura tem como principal atributo, para o problema de roteamento, a velocidade, que influenciará na quantidade de eventos que poderá ser visitado. Existe uma grande dificuldade de estimar automaticamente a velocidade média da viatura durante o policiamento, muitos fatores, que estão além do escopo deste projeto, influenciam no seu valor. Neste sentido, a velocidade deve ser informado pelo analista.

Os *Hot Spots* ou clusters são áreas de interesse do policiamento e devem ser tratados como uma entidade bem definida. Ao cluster estão associados todos os eventos que o compõe e a lista de latitudes e longitudes que formam sua região geográfica. A prioridade dos eventos contidos no cluster é maior que a prioridade dos eventos isolados.

O Centro é um dos principais componentes e tem como função gerenciar todos os acessos, cálculos e inicializações do módulo. O Centro referencia todos os outros

componentes, construindo uma interface que abstrai as características mais complexas do módulo. Resumidamente, o Centro serve como ponto de contato entre as estruturas de dados da camada de planejamento a camada superior (Figura 5.10).

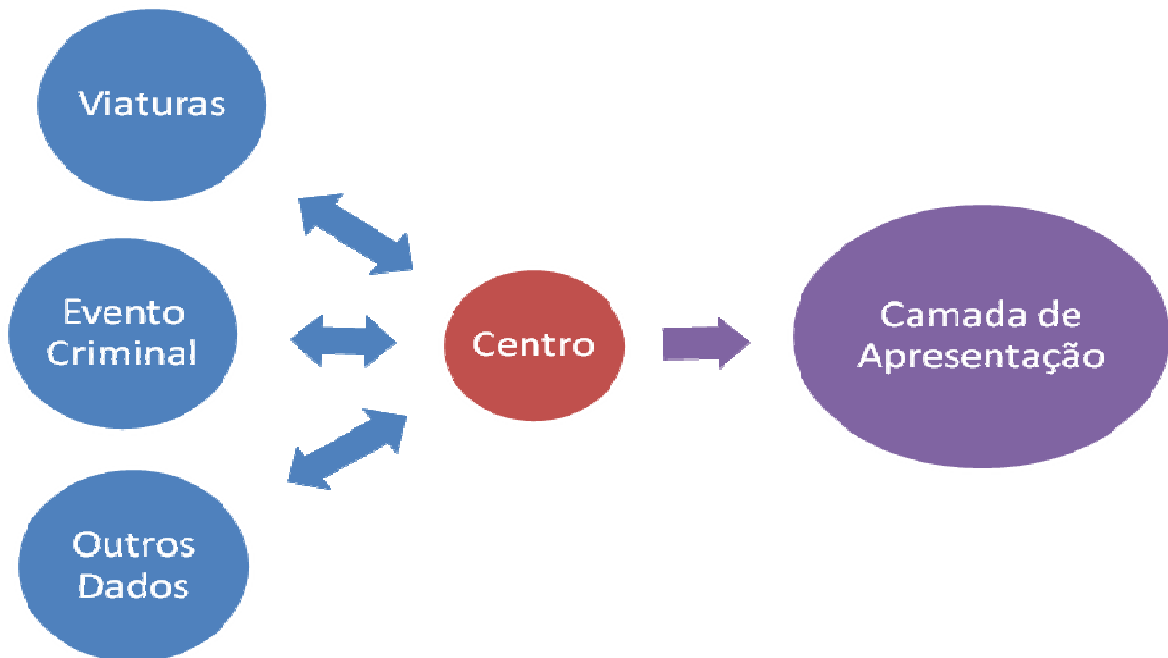


Figura 5.10: Componente “Centro”, ponto de contato. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O Avaliador avalia e estima os custos de cada solução proposta pelo algoritmo de Busca Tabu, a partir da aplicação da função objetivo. O Avaliador é responsável por determinar a qualidade da solução. A função objetivo implementada contém as seguintes regras, em ordem de prioridade:

- a) quebra de janela de tempo;
- b) visitas perdidas;
- c) veículos utilizados;
- d) distância percorrida;
- e) tempo de espera para visitar um ponto.

Para cada solução encontrada, o UVR lança um evento para qualificação da solução. Este evento é registrado pela ferramenta, que calcula, de acordo com a função objetivo, um conjunto de pesos retornado através de um vetor. A verificação dos pesos é feita da primeira variável para a última, iniciando pela quebra de janela de tempo. As soluções são avaliadas seguindo a ordem descrita, descartando as soluções de maior custo.

Pode-se concluir, a partir do que foi apresentado neste capítulo, que a ferramenta provê recursos que apóiam as atividades referentes à Análise Criminal no que concerne a revelar padrões e tendências sobre a criminalidade e sugerir um planejamento de rotas de viaturas para áreas onde o policiamento deve ser priorizado. Neste sentido, a partir da ferramenta é possível detectar pontos de concentração criminais que fornecem informações valiosas para o policiamento. A partir dos padrões detectados e das relações espaciais e temporais entre os eventos criminais a ferramenta forma os clusters que constituem áreas de prioridade no policiamento. Através da ferramenta é possível, também, gerar rotas, calculadas pelo algoritmo de Busca Tabu, que atendam prioritariamente aos pontos relevantes de criminalidade, guiando as viaturas disponíveis para áreas de maior criminalidade no momento certo do dia. As rotas geradas pelo algoritmo tendem a apresentar melhores resultados quando qualificadas através do sumário descritivo, ou seja, as rotas qualificadas tendem ao melhor caso, lugar certo na hora certa.

De forma geral, foi possível alcançar os objetivos almejados e contribuir de forma relevante para o mapeamento do crime e planejamento de rotas de viaturas. A aplicação desenvolvida fornece instrumentos pertinentes que apóiam o analista criminal nas tarefas de planejar e distribuir recursos de forma adequada auxiliando o processo investigativo e melhorando o desempenho do policiamento.

Na próxima seção é apresentada a aplicação desenvolvida e discutida de forma integrada as contribuições descritas neste trabalho.

## 6 ANÁLISE E PLANEJAMENTO DE ROTAS DE VIATURAS POLICIAIS

A aplicação para análise e planejamento de rotas de viaturas policiais foi criada visando prover um sistema integrado para utilização adequada de viaturas no contexto do policiamento ostensivo. Entretanto, para alcançar este propósito maior, o seu desenvolvimento foi desmembrado em dois objetivos menores. O primeiro remete à análise da movimentação das viaturas, isto é, a análise das características do movimento das viaturas e das ocorrências criminais, possibilitando que seus atributos sejam confrontados. O segundo objetivo visa apoiar o analista criminal nas tarefas relativas ao planejamento da frota de viaturas.

O modelo proposto para apresentação de viaturas em mapas estáticos foi apresentado no capítulo 3 e define os princípios utilizados na análise das rotas, primeiro objetivo da ferramenta. O segundo objetivo é apresentado no capítulo 5, que propõe um modelo que visa sugerir ao analista um plano otimizado de policiamento.

A ferramenta é utilizada como prova de conceito das contribuições descritas no corpo deste trabalho.

### 6.1 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

A ferramenta foi desenvolvida na plataforma Java (SUN MICROSYSTEMS, 2008) e explora as vantagens proporcionadas pela orientação a objetos, portabilidade, reutilização e integração com ambientes distintos.

Para acesso e persistência de dados foi utilizado o banco de dados livre PostgreSQL (POSTGRESQL, 2008). A escolha desta base de dados se deve a dois motivos principais: a robustez necessária para trabalhar com uma quantidade gigantesca de informações, característica comum às aplicações SIG; e por possuir recursos avançados para tratamento de dados espaciais, como a extensão PostGIS.

A ferramenta foi desenvolvida em três camadas (apresentação, negócio e dados). As camadas estão logicamente separadas e representam uma abstração do domínio de um problema específico. A camada de apresentação é definida pelas classes que compõem a interface gráfica da ferramenta e os recursos visuais utilizados. A camada de negócio é formada por classes que implementam as regras para a construção visual do modelo de análise. Estão também inseridas nesta camada as classes que implementam os algoritmos metaheurísticos referentes ao problema de roteamento das viaturas, entre outras. A camada de acesso a dados possui uma importância ímpar para a ferramenta, pois esta camada abstrai algumas primitivas geográficas utilizadas pela ferramenta diretamente no banco de dados.

Este recurso é de grande valia, pois facilita o acesso aos dados e acelera buscas com restrições geográficas.

## 6.2 ARQUITETURA DA FERRAMENTA

A arquitetura da ferramenta de análise e planejamento de rotas de viaturas consiste dos componentes de software, suas propriedades e seus relacionamentos. Faremos uma síntese da arquitetura utilizada para desenvolvimento da ferramenta focando nos módulos mais importantes.

A ferramenta é dividida em quatro módulos inter-relacionados (Figura 6.1):

- a) módulo de consulta;
- b) módulo de interação;
- c) módulo de análise;
- d) módulo de planejamento.



Figura 6.1: Arquitetura da Ferramenta. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Esses módulos são responsáveis pelas funcionalidades principais da ferramenta: obter informações armazenadas nas fontes de dados através de parâmetros de consulta, apresentação dos dados em mapas estáticos, gráficos e outras formas de apresentação auxiliares e prover os algoritmos necessários para planejamento das viaturas. Todas as unidades se comunicam através da camada de apresentação dos dados, a qual possui as classes que abstraem as entidades inerentes ao contexto da ferramenta.

A Análise Criminal é composta de um conjunto de processos direcionados para a formação de uma estratégia bem definida e eficaz do policiamento (Figura 6.2). Os processos

principais visam coletar dados pertinentes, analisar as informações no intuito de extrair conhecimento sobre os padrões do crime e suas correlações e tendências, aplicar métodos automatizados que auxiliem o analista, através de índices, gráficos ou formas não convencionais de visualização, a entender melhor os dados e, por último, planejar o policiamento para atender áreas que devem ser priorizadas. Todas essas etapas devem ser executadas na forma e seqüência adequadas para alcançar um objetivo maior, realizar um policiamento bem sucedido.

Cada módulo da aplicação foi projetado para adequar-se aos processos inerentes a Análise Criminal, ou seja, os módulos serão utilizados conforme a atividade que o analista está executando.



Figura 6.2: Conjunto de processos sistemáticos da Análise Criminal. Fonte: Elaboração do autor (2008).

### 6.2.1 Módulo de Consulta

O módulo de consulta foi desenvolvido com o objetivo de interagir com as fontes de dados. Tem-se três tipos principais de dados, os dados relativos à movimentação das viaturas, composto por posicionamento (latitude e longitude), data, velocidade, direção, tipo e identificador. Os dados referentes aos eventos criminais, cujos atributos são: identificador, tipo, posicionamento e data. E, por último, as informações sobre as ruas, rodovias, estradas e

trilhas. Estas informações, utilizadas para mapear as rotas das viaturas, são originados da base colaborativa de dados geográficos OSM (OSM, 2008).

De forma geral, o módulo de consulta é a primeira etapa a ser executada no planejamento de rotas de viaturas. É através deste módulo que o analista pode selecionar e extrair o conjunto de dados relevantes para a análise.

A consulta das viaturas e eventos é realizada pelos painéis *Moving Objects* e *Events*, respectivamente Figura 6.3.a e Figura 6.3.b. Os parâmetros de busca são independentes, permitindo relacionar eventos e viaturas em momentos distintos. É possível analisar uma rota que foi adequada em um período, mas inadequada em outro período.

a)
b)

Figura 6.3: Módulo de Consulta: a) Parâmetros de busca das Viaturas, b) Parâmetros de Busca dos Eventos Criminais. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Para exemplificar o funcionamento do módulo de consulta, considere a Figura 6.4. A partir dos critérios especificados nos painéis de busca, o mapa é gerado reunindo dados das três fontes de dados que o módulo de consulta tem acesso. A rota da viatura apresentada inicia seu percurso do lado esquerdo em direção ao lado direito do mapa, de acordo com a luminosidade do tom de cor. O mapa apresenta, ainda, alguns eventos ocorrendo em momentos variados. Outra fonte de dados pesquisada foi o banco de dados de informações sobre ruas e rodovias. Através do mapa é possível identificar os nomes das ruas mais importantes e relacionar a posição dos eventos em relação ao mapa da cidade.



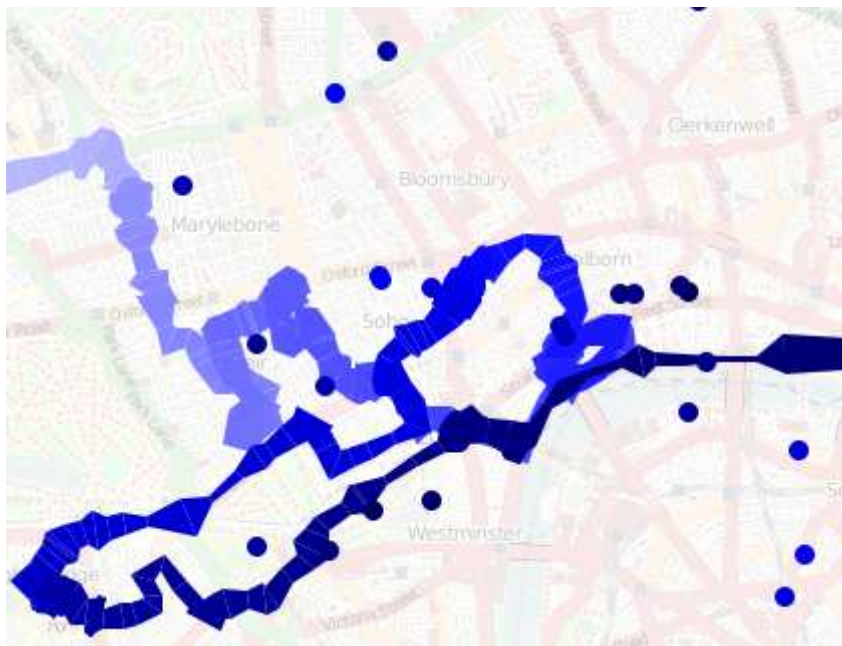


Figura 6.4: Busca de acordo com parâmetros especificados. Fonte: Elaboração do autor (2008).

O módulo de consulta permite, portanto, a relação da ferramenta, com os diversos tipos de dados. Para isto, utiliza a interface de programação da aplicação (API), *Java Database Connectivity* (JDBC) (SUN MICROSYSTEMS, 2008) e uma API específica para conexão com o PostgreSQL. Estas APIs oferecem os recursos necessários para realizar consultas *Structured Query Language* (SQL) cujo resultado fornece as informações de entrada do sistema.

### 6.2.2 Módulo de Interação

O módulo de interação visa facilitar a exploração dos dados no mapa. Este módulo fornece os controles de interação típicos para manipulação de mapas como: zoom e movimentação do mapa para alcançar uma área de interesse. Além destes controles o módulo de interação permite selecionar os objetos que estão desenhados no mapa, fornecendo ao usuário a descrição do objeto.

O componente de zoom permite modificar a distância do observador e a quantidade de detalhes visíveis (Figura 6.5.a). O controle de navegação é realizado no próprio mapa através de comandos do mouse de arrastar e soltar. Utilizou-se também um controle de navegação auxiliar para prover uma visão geral do mapa (Figura 6.5.b). Esta navegação auxiliar fica no canto inferior direito da ferramenta e permite movimentar o mapa mais facilmente.



Figura 6.5: Módulo de Interação: a) Componente de Zoom, b) Componente de navegação Auxiliar. Fonte: Elaboração do autor (2008).

### 6.2.3 Módulo de Análise

O módulo de análise é responsável por desenhar no mapa os eventos criminais e as trajetórias das viaturas recuperadas pelo módulo de consulta. É, também, de responsabilidade deste módulo gerar o gráfico de apresentação do sumário descritivo. Este módulo possui dois componentes principais, o *MapRender* e o *SummaryRender*. O *MapRender* tem como função desenhar o mapa. O *SummaryRender*, por sua vez, tem como função gerar o sumário descritivo.

O *MapRender* faz a leitura dos atributos (localização e tempo) do evento e calcula a cor e a posição que o evento será apresentado no mapa (Figura 6.6). O sistema de cores utilizado foi o Hue, Saturation, Value (HSV). Este sistema de cores foi adotado, pois define um espaço de cores baseado em três parâmetros, que auxiliam no cálculo da cor:

- a) tonalidade: define o tipo da cor, abrangendo todas as cores do espectro, desde o vermelho até o violeta, mais o magenta. Atinge valores de 0 a 100%;
- b) saturação: também chamado de “pureza”. Quanto menor o valor, mais cinza estará contido na cor resultante. Quanto maior o valor, mais pura é a imagem;
- c) valor: define o brilho da cor.

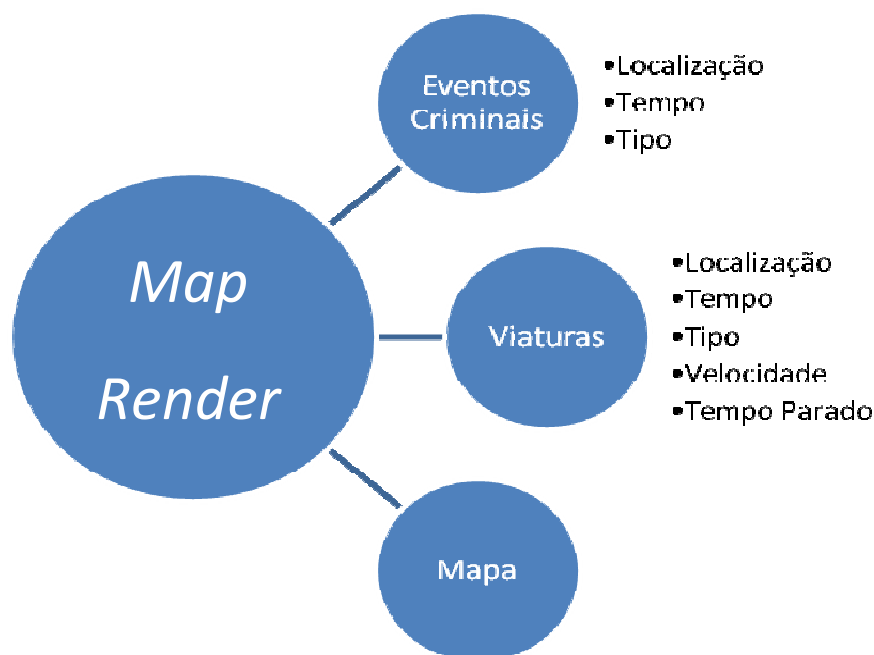


Figura 6.6: *MapRender*. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Ao contrário dos eventos, cuja apresentação é feita através de círculos, o histórico da viatura é apresentado por linhas. Estas linhas ligam cada trecho do movimento, portanto, devem exprimir a localização, o horário de ocorrência e a velocidade. O *MapRender* faz a leitura dos atributos localização e tempo da viatura e calcula a cor para cada instante da trajetória. A velocidade da viatura também interfere na linha que representa o movimento. Quanto maior a velocidade menor é a espessura da linha, e quanto menor a velocidade, maior é a espessura da linha. O *MapRender* aplica, para cada divisão do movimento, uma escala de espessura de acordo com a velocidade média do trecho.

É, também, função do *MapRender* monitorar os módulos de busca e interação. Para cada alteração do zoom, movimentação do mapa ou modificação dos objetos, o *MapRender* recalcula os atributos visuais e os exibe.

O *SummaryRender*, por outro lado, gera, para cada evento policial, um ponto no espaço de qualidade do policiamento. Este ponto é definido pelas distâncias relativas espaciais e temporais entre o evento e um ponto da rota, normalizada pela maior distância espacial e temporal respectivamente. O ponto é representado pelo par de coordenadas  $(\delta d, \delta t)$  cujo valor caracteriza a ronda quanto ao local (certo ou errado) que a viatura estava da ocorrência policial e quanto ao horário (certo ou errado) da viatura em seu ponto mais próximo da ocorrência policial. Por último, é calculado um par de coordenadas  $(\Delta D, \Delta T)$  que representa o qualificador geral das rotas em relação aos eventos, este par de coordenadas é calculado pela média aritmética da contribuição de todas as ocorrências criminais em análise.

Todas as coordenadas calculadas pelo *SummaryRender* são distribuídas em um gráfico para permitir a análise pelo analista.

O módulo de análise foi projetado para apoiar o analista em dois processos distintos e complementares: análise visual e análise automática dos dados. A análise visual é de responsabilidade do *MapRender* e a análise automática é de responsabilidade do *SummaryRender*. Através da utilização desses componentes, espera-se que o entendimento sobre as tendências criminais e, principalmente, sobre a qualidade do policiamento existente em face da distribuição criminal torne-se mais evidente e claro para o analista. Os componentes de análise devem ser utilizados conjuntamente, pois a análise visual não substitui a análise automática pela velocidade e precisão do resultado desta e, de igual forma, a análise automática não substitui a análise visual pela capacidade inigualável da cognição humana. A análise automática tem maior aplicabilidade quando utilizada em face de uma quantidade muito grande de dados ou para corroborar os resultados obtidos pela análise visual.

Para evidenciar o processo da análise visual considere, por exemplo, o mapa da Figura 6.7. Este mapa apresenta a rota de uma viatura e alguns eventos criminais. A velocidade durante o trajeto é percebida de acordo com a espessura da linha. Durante a rota a viatura varia sua velocidade, começando a rota um pouco mais rápida, diminuindo a velocidade durante o percurso e ficando novamente mais rápida no final do percurso. É relevante perceber que a maior parte dos eventos ocorreu antes da passagem da viatura e alguns eventos ocorreram depois. Portanto, pode-se perceber visualmente que esta rota não está adequada para o policiamento desta área.

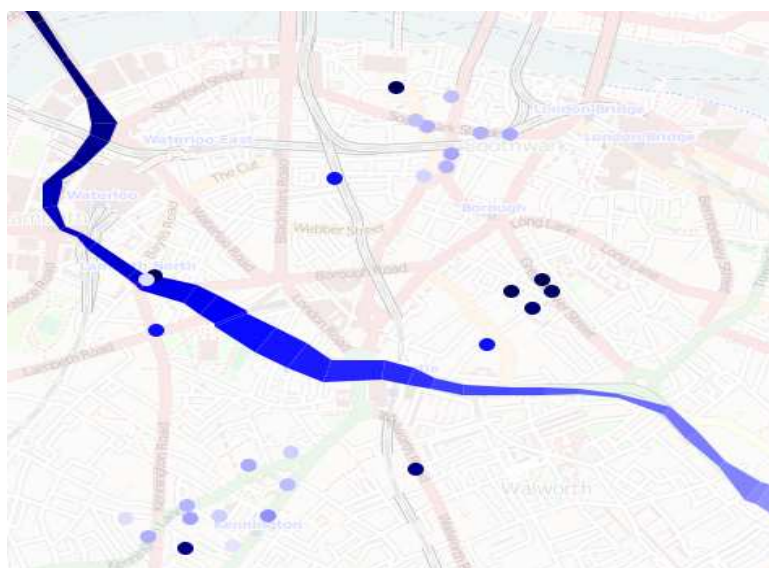


Figura 6.7: Análise visual das informações do movimento e eventos. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Aplicando-se a análise automática no mapa apresentado, o resultado é o gráfico da Figura 6.8. Os eventos estão dispersos no gráfico, entretanto, pode-se perceber uma frequência mais acentuada de ocorrências no quadrante Lugar Errado na Hora Errada. Portanto, o resultado da análise automática confirma o que foi percebido com a análise visual.

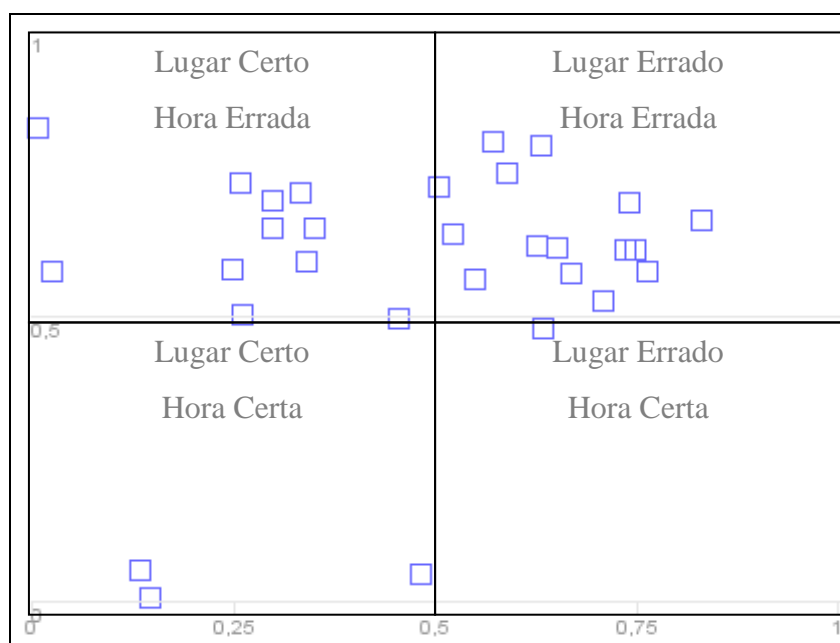


Figura 6.8: Análise automática: representação do Espaço de Qualidade do policiamento. Fonte: Elaboração do autor (2008).

#### 6.2.4 Módulo de Planejamento

O módulo de planejamento visa prover ferramentas que auxiliem o processo da Análise Criminal de Planejamento de Rotas. Este módulo está dividido em duas partes principais. A primeira parte está relacionada à formação dos clusters (*Hot Spots*). E a segunda parte propõe, para o analista, a melhor rota.

Na primeira parte, o analista entrará com a distância espacial e temporal, valores ajustados de acordo com os seus preceitos e objetivos, e escolherá o método (*single-link* ou *complete-link*) utilizado pelo algoritmo hierárquico. A partir dos parâmetros definidos o algoritmo será aplicado ao conjunto de dados previamente selecionados. O resultado será a definição e apresentação dos clusters.

A segunda parte define a melhor rota para atender prioritariamente aos *Hot Spots*. Nesta etapa serão fornecidos pelo analista os critérios e valores, utilizados pelo algoritmo de roteamento, para efetuar o cálculo da rota. Será fornecido a localização da base onde as viaturas vão partir, quantidade de viaturas disponíveis, entre outros.

O módulo de planejamento possui arquitetura baseada nos trabalhos de (HARDER; HILL; MOORE, 2002; O'ROURKE et al, 2001; KINNEY; HILL; MOORE, 2001), cujos resultados mais relevantes são o OpenTS e o *Universal Vehicle Router (UVR)*. O OpenTS é um arcabouço para solução de problemas baseado no algoritmo de busca tabu, independente das características do problema. E o UVR é um modelo para solução de problemas de roteamento de veículos cuja arquitetura provê um conjunto de componentes que abstraem as principais características do problema de roteamento de veículos.

O módulo de planejamento utiliza o OpenTS e o UVR, estendendo-os para contemplar as características do contexto do planejamento espaço-temporal da movimentação das viaturas. Adaptações foram realizadas ao algoritmo UVR para se adequar à realidade do presente trabalho.

#### 6.2.4.1 Formação e Apresentação dos Hot Spots

A visualização dos Hot Spots é feita a partir da aplicação do algoritmo *ConvexHull*, que permite desenhar a área que contenha todos os eventos criminais que compõem o Hot Spot. O algoritmo *ConvexHull* calcula o menor polígono que contenha todas ocorrências criminais.

A Figura 6.9 apresenta o conjunto de parâmetros que modificam a execução do algoritmo hierárquico. O atributo “*Km. Distance*” reflete a máxima distância em quilômetros que separa dois possíveis *Hot Spots*. De acordo com o método escolhido (*Distance Method* e *Time Method*), que pode ser o *single-link* ou o *complete-link*, a fórmula para cálculo dos *Hot Spots* é alterada. No método *single-link* a distância entre dois clusters (c1 e c2) é a mínima distância possível entre os componentes de c1 e c2. No método *complete-link*, o critério é definido pela máxima distância entre dois clusters.

Os clusters encontrados a partir dos critérios formarão a base de prioridade para o algoritmo de planejamento das rotas. A possibilidade de testar os parâmetros e testar visualmente o resultado é de grande relevância, pois permite a obtenção de rotas que melhor alcancem os resultados esperados.

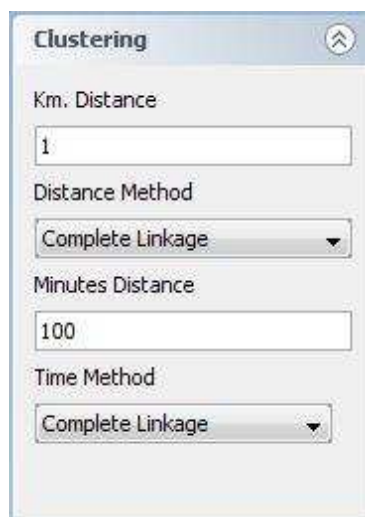


Figura 6.9: Parâmetros para formação dos *Hot Spots*. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Para analisar a formação e apresentação dos clusters, considere a Figura 6.10. A partir dos critérios informados pelo analista, aplicou-se o método de formação de clusters espaço-temporais. Pode-se perceber que os eventos que possuem uma similaridade espacial e temporal foram combinados dando origem a três clusters bem definidos. Existem eventos que, apesar de possuírem uma similaridade espacial bastante forte com outros eventos, não compuseram os clusters por serem distantes temporalmente. Na prática, são eventos criminais que destoam da maioria e por isso não devem ser priorizados. Vale salientar, neste caso, que a viatura não alcançou adequadamente os pontos de maior concentração de criminalidade, corroborando, mais uma vez, com o sumário descritivo apresentado anteriormente.



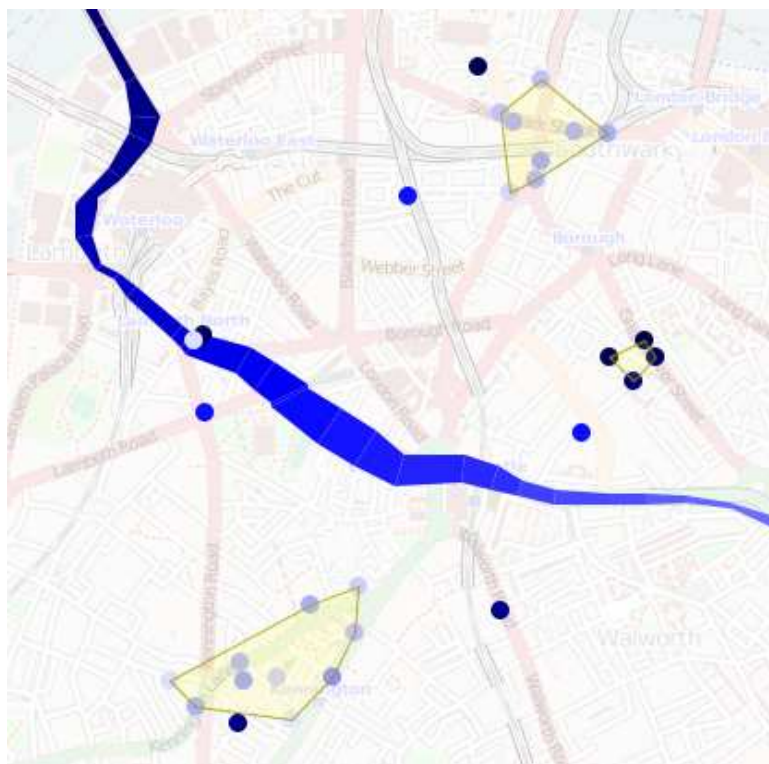


Figura 6.10: Formação dos Clusters. Fonte: Elaboração do autor (2008).

#### 6.2.4.2 Planejamento das Rotas de Viaturas

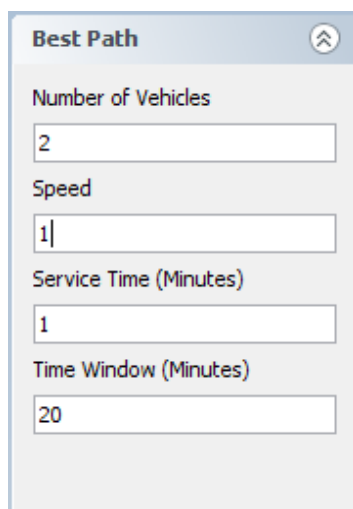
O algoritmo de planejamento das rotas de viaturas realiza diversos cálculos para encontrar, matematicamente, a melhor rota. Esses cálculos levam em consideração a função objetivo e os parâmetros informados pelo analista, portanto, em termos práticos, consideram a redução dos custos do policiamento e a estratégia desejada pelo analista planejar a frota de viaturas.

A Figura 6.11 apresenta o formulário cujos dados serão preenchidos pelo analista e utilizados pela ferramenta. O primeiro campo reflete a quantidade de viaturas (“*Number of Vehicles*”) que será utilizada no planejamento. Como um das variáveis da função objetivo é diminuir a quantidade de viaturas utilizada, o algoritmo só utilizará a quantidade necessária de viaturas e descartará o excesso. A velocidade média (“*Speed*”) das viaturas será informada no segundo campo. O terceiro campo requer uma informação relevante, que é o tempo que a viatura deve permanecer em cada ponto a ser visitado em minutos, chamado de tempo de serviço (“*Service Time*”). O quarto campo é a janela de tempo (“*Time Window*”).

A janela de tempo é a restrição temporal para a viatura poder visitar a localidade. Se a viatura chegar antes deve esperar até o início da janela de tempo e caso não tenha tempo para chegar até o final da janela de tempo não poderá visitá-lo, desse modo a viatura deve procurar



visitar o outro ponto. O valor informado neste campo reflete o tamanho em minutos da janela de tempo.



The image shows a software dialog box titled "Best Path". It contains four input fields, each with a label above it: "Number of Vehicles" with the value "2", "Speed" with the value "1", "Service Time (Minutes)" with the value "1", and "Time Window (Minutes)" with the value "20". The dialog box has a standard Windows-style title bar with a maximize button.

Figura 6.11: Parâmetros para o Planejamento das Rotas de Viaturas. Fonte: Elaboração do autor (2008).

Seguindo a seqüência dos exemplos apresentados neste capítulo, considere a Figura 6.12. Aplicou-se ao problema discutido durante este capítulo o algoritmo de planejamento de rotas de viaturas. Para o cálculo da melhor rota, especificou-se a disponibilidade de duas viaturas. O valor da janela de tempo foi de 40 minutos e o tempo de serviço foi de 1 minuto.

A apresentação das rotas propostas pela ferramenta foi desenvolvida utilizando-se técnicas análogas às discutidas no modelo de apresentação das características do movimento. Os conceitos de representação do tempo, da rota e eventos criminais utilizados foram os mesmos trabalhados anteriormente como intuito de alcançar uma apresentação coerente e integrada dos diversos componentes. Portanto, é possível relacionar os aspectos temporais e espaciais com todos os eventos criminais e rotas, inclusive a rota sugerida pela ferramenta.

Foram acrescentados alguns componentes a esta nova figura. O quadrado cinza, no centro da imagem, representa a Base, ponto de partida e retorno das viaturas. A partir deste ponto é possível perceber quatro linhas, representando duas viaturas. A viatura “v1”, representada pela cor vermelha e a viatura “v2”, pela cor azul. A luminosidade representa a dimensão tempo, iniciando no ponto de cor mais clara até o ponto de cor mais escura. A partir deste conceito pode-se identificar o deslocamento que inicia a rota e o que finaliza de cada viatura. A linha tracejada destaca o retorno da viatura para a Base.

Pode-se perceber três *Hot Spots* circundados identificados pelo polígono amarelo que os contorna. O primeiro *Hot Spot* localiza-se na parte inferior da imagem, o segundo a direita e o terceiro na parte superior. É possível perceber que todos os *Hot Spots* foram visitados por

pelo menos uma viatura, entretanto, nem todos os pontos de ocorrência criminal foram visitados.

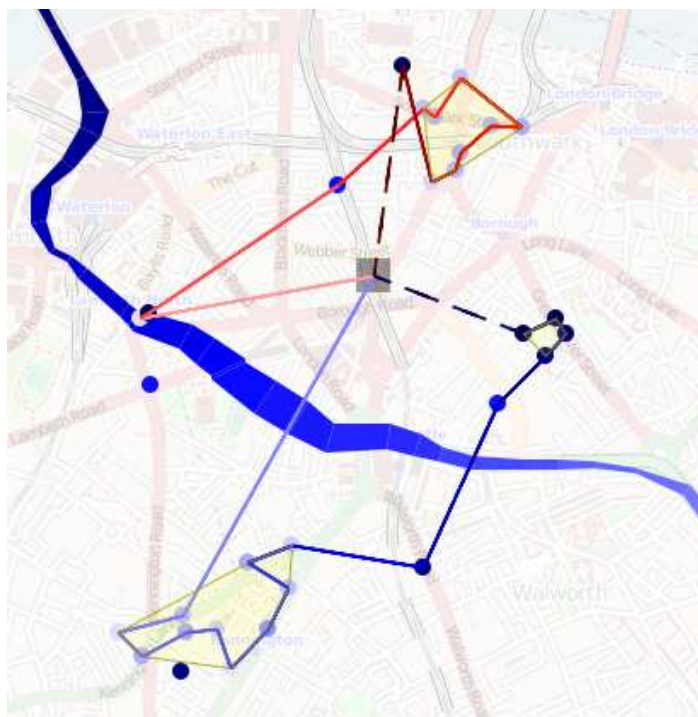


Figura 6.12: Planejamento das Rotas para atendimento dos pontos quentes. Fonte: Elaboração do autor (2008).

De forma geral, a nova rota tentou atender prioritariamente clusters identificados na ordem que os eventos que compõem os clusters acontecem durante o dia. Buscou-se utilizar o tempo disponível, respeitando a janela de tempo, para visitar pontos não visitados próximos à rota prioritária. Espera-se que, mantido o padrão de ocorrências policiais, as rotas sugeridas pela ferramenta apresentarão melhores resultados na qualidade do policiamento, já que foi construída para atender a pontos que historicamente foram mais visitados por atos de caráter ilícito.

Para verificar a qualidade das rotas sugeridas em relação aos eventos policiais, pode-se consultar o sumário descritivo de cada rota (Figura 6.13). Percebe-se no gráfico que os pontos desenhados no espaço de qualidade de policiamento tendem a zero, ou seja, as viaturas estão posicionadas no quadrante Lugar Certo na Hora Certa. Apresentando resultado bastante superior ao resultado apresentado pelo sumário descritivo da rota original.

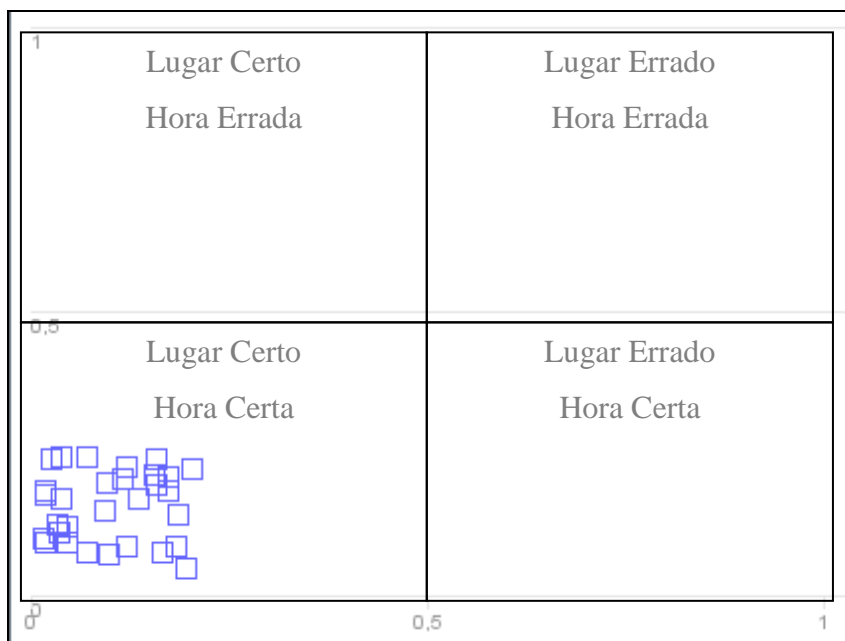


Figura 6.13: Qualidade das rotas sugeridas pela ferramenta de Planejamento de Rotas de Viaturas. Fonte: Elaboração do autor (2008).

De forma geral, o planejamento de rotas de viaturas alcançou os resultados esperados, isto é, permitiu, de forma automatizada, que as rotas das viaturas fossem planejadas visando diminuir os custos e aumentar a eficácia do policiamento.

Contudo, é importante frisar que esta ferramenta ainda não alcança critérios de planejamento mais sofisticados. A ferramenta não permite, por exemplo, que o analista defina outras políticas de prioridade no planejamento ou modifique as características de um veículo específico que influenciem a estratégia da sua utilização.

## 7 CONCLUSÃO

O poder que a tecnologia da informação tem para criar, transformar ou aprimorar processos nas áreas que a utilizam é ilimitado. Os avanços observados hoje em todas as áreas do conhecimento advindos da aplicação de sistemas computacionais são apenas iniciais quando comparados as possibilidades futuras. A segurança pública é uma das áreas que possuem grande demanda por esses sistemas e pode ser imensamente beneficiada pelas contribuições da informatização.

Objetivando fornecer aos especialistas em segurança pública uma ferramenta computacional que apóie as atividades de interesse da Análise Criminal, foi proposto um ambiente SIG para o auxílio à análise e planejamento de rotas de viaturas policiais. A ferramenta SIG desenvolvida fornece instrumentos que apóiam o analista criminal nas tarefas que envolvem a detecção de padrões criminais, correlação de tendências oriundas das atividades ilegais, emprego racional das viaturas e rendimento maior do policiamento ostensivo. Os processos principais que envolvem o trabalho do analista criminal foram contemplados na ferramenta e sua execução é subsidiada pelos recursos desenvolvidos.

Primeiramente, foi proposto um modelo de visualização de ocorrências policiais e deslocamentos das viaturas em mapas estáticos onde os dados sobre as características do movimento são explicitamente apresentados. A concepção deste modelo foi inspirada no mapa de Minard (TUFTE, 2001) e fundamentou-se nos princípios da semiologia gráfica (BERTIN, 1983). O modelo de visualização proposto foi capaz de apresentar as características do movimento das viaturas e das características temporais das ocorrências policiais superando as desvantagens encontradas nos modelos já existentes. Como resultado, o histórico da movimentação da viatura em um curto espaço de tempo é apresentado de forma coerente e intuitiva de forma a permitir o entendimento completo do deslocamento.

O modelo, entretanto, não se mostrou adequado ou robusto o suficiente para a representação das características do movimento com dados históricos de um longo período de tempo, isto é, dias, meses ou anos. De forma a complementar o modelo de visualização proposto e suportar a análise dos deslocamentos das viaturas por períodos longos de tempo, foi proposto um sumário descritivo para qualificar a interação da rota em função das ocorrências criminais.

O sumário descritivo qualificador de rotas permitiu diminuir a complexidade de análise através de uma classificação automatizada dos dados, gerando um valor numérico que

representa a qualidade da rota da viatura em relação aos eventos criminais. O sumário permite o analista criminal mensurar a qualidade do planejamento de rotas, gerando indicadores de desempenho que mostram se as decisões estratégicas e táticas tiveram efeito real no policiamento.

Apesar dos métodos de análise propostos fornecerem um conjunto de recursos que auxiliam a coleta de informações da movimentação das viaturas e melhor planejamento das rotas, esses métodos não são suficientes para garantir um policiamento eficaz.

Neste sentido, propomos uma ferramenta para minimizar as dificuldades no planejamento de rotas de viaturas e propiciar o emprego racional dos recursos policiais que sugere para o especialista um plano otimizado de policiamento. A ferramenta de planejamento de rotas proposta auxilia o analista criminal nas atividades de detecção dos padrões criminais e, a partir dos padrões detectados, conduz o planejamento das viaturas para áreas onde o policiamento deve ser priorizado.

A ferramenta de planejamento estabelece uma rota para cada viatura disponível, com o intuito de atender, com maior prioridade, os pontos de concentração criminal. O algoritmo base utilizado para solução do problema foi o Busca Tabu. Este algoritmo foi modificado para atender a restrições e características do planejamento de rotas de viatura. As rotas geradas pelo algoritmo tendem a apresentar bons resultados quando avaliadas através do sumário descritivo qualificador de rotas, ou seja, as rotas sugeridas tendem ao melhor caso, lugar certo na hora certa.

A aplicação desenvolvida fornece instrumentos pertinentes que apóiam o analista criminal nas tarefas de planejar e distribuir recursos de forma adequada auxiliando o processo investigativo e melhorando o desempenho do policiamento. Analisado por uma perspectiva ampla, este trabalho objetivou aumentar e especializar o arsenal da segurança pública na luta contra o crime.

Em contrapartida, este trabalho contempla apenas uma pequena parcela das possíveis contribuições para a segurança pública. A ferramenta construída possui limitações que devem ser solucionadas e funcionalidades relevantes que podem ser acrescidas para alcançar melhores resultados na aplicação prática do trabalho. Entre as limitações é possível citar:

1. apresentação das características do movimento de viaturas em mapas estáticos considerando longos períodos de tempo;
2. ampliar os critérios de busca da ferramenta;
3. estender os recursos de interface disponíveis pela ferramenta para interação com o usuário.

Além das limitações apontadas, existem novas funcionalidades de importância ímpar que podem ser desenvolvidas para estender as possibilidades do trabalho. Entre elas é possível citar:

1. detecção de clusters considerando outras características comuns entre os crimes;
2. planejamento de rotas diversificando o tipo de veículos (leve ou pesado), priorizando áreas de acordo com a capacitação do veículo;
3. comunicação da ferramenta com outras bases de dados policiais para integrar, em uma mesma ferramenta, diversas informações de interesse do analista.

Os resultados obtidos neste trabalho podem ser objetos de novas pesquisas, podendo ser adaptados a outros problemas de análise de objetos móveis e planejamento de movimentação. Os algoritmos também podem ser adaptados a diferentes propósitos.

As limitações do trabalho e futuras melhorias apontadas não foram exaustivamente apresentadas, outras podem ser levantadas de acordo com o uso e aperfeiçoamento das técnicas de análise e planejamento de rotas de viaturas.

- ALVARENGA, G. B. **Um Algoritmo Híbrido para o Problema de Roteamento de Veículos Estático e Dinâmico com Janela de Tempo**. 2005. 199 f. Tese - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2005.
- ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G. **Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: A Systematic Approach**. 1. ed. Alemanha: Springer, 2006. 703 p.
- ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G.; GATALSKY, P. Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review. **Journal of Visual Languages and Computing**, Alemanha, v. 14, n. 6, p. 503-541, 2003.
- ARNHEIM, R. **Film Essays and Criticism**. University of Wisconsin Press. 1997. 304 p.
- BARD, J. F.; KONTORAVDIS, G.; YU, G. A Branch-and-Cut Procedure for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. **Transportation Science**, v. 36, n. 2, p. 250-269, 2000.
- BERTIN, J. **Semiology of Graphics**. University of Wisconsin Press. 1983. 432 p.
- BOBA, R. L. **Crime Analysis and Crime Mapping**. 2. ed. Sage Publications. 2008. 376 p.
- BODIN, L., et al. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of The Art. **Computer and Operations Research**, v. 10, p. 63-211, 1983.
- BORTOLANZA, J. **Uma contribuição ao planejamento municipal que propicie o desenvolvimento sustentável**. 1999. Dissertação - Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.
- BREJON, S. R. **Algoritmo para resolução do problema de programação do transporte de suprimentos para unidades marítimas de exploração de petróleo**. 1998. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1998.
- BRUCE, L. G.; ASSAD, A. A. **Vehicle Routing With Time-Window Constraints: Algorithmic Solutions**. American Sciences Press. 1987.
- CALHOUN, K. **Tabu Search for Combat Aircraft Scheduling and Rescheduling**. 2000. Dissertação - Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB OH. 2000.
- CAMPOS, J.; EGENHOFER, M.; HORNSBY, K. Virtual Exploration of Animations. **Summer Computer Simulation Conference**, p. 761-766, 2003.
- CANTER, P. Geographic information systems and crime analysis in Baltimore County, Maryland. **Crime Mapping and Crime Prevention: Crime Prevention Studies**, v. 8, 1998.
- CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research**, v. 12, n. 4, p. 568-581, 1964.

CONTEXT. **Graphic Sociology**. Disponível em: < <http://contexts.org/graphicsociology/tag/maps>>. Acesso em: 22 jan. 2009.

CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G.; MERCIER, A. A Unified Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows. **Journal of the Operational Research Society**, v. 52, n. 8, p. 928-936, 2001.

CULLENBINE, C. **Tabu Search Approach to the Weapons Assignment Model (WAM)**. 2000. Dissertação - Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB OH. 2000.

DANTAS, G. F.; SOUZA, N. G. As bases introdutórias da análise criminal na inteligência policial. **Ministério da Justiça: Segurança Pública**. Disponível em: < <http://www.mj.gov.br>>. 2004. Acesso em: 22 jan. 2009.

DESROCHERS, M.; DESROSIERS, J.; SOLOMON, M. A new optimization algorithm for the vehicle routing problema with time windows. **Operations Research**, v. 40, n. 2, p. 342-354, 1992.

DESROCHERS, M.; LENSTRA, J. K.; SAVELSBERGH, M. W. A Classification Scheme for Vehicle Routing and Scheduling Problems. **European Journal of Operational Research**, v. 46, n. 3, p. 322-332, 1990.

DIBIASE, D. Visualization in the Earth Sciences. **Earth and Mineral Sciences**, v. 59, n. 2, 1990.

DIBIASE, D., et al. Animation and The Role of Map Design in Scientific Visualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, p. 201-214, 1992.

FEO, T. A.; RESENDE, M. G. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures, **Journal of Global Optimization**, v. 6, n. 2, p. 109-133, 1995.

GENDREAU, M. An introduction to Tabu Search. **International Series in Operations Research & Management Science**, v. 57, p. 37-54, 2003.

GENDREAU, M.; LAPORTE, G.; POTVIN, J.-Y. Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem. **Technical Report CRT-963**, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1999.

GEOANALYTICS. International Cartographic Association. **Commission on Visualization and Virtual Enviroments**. Disponível em: < <http://geoanalytics.net/ica>>. Acesso em: 22 jan. 2009.

GLOVER, F. Future paths for integer programming and links to artificial. **Computer Operational Research**, v. 13, n. 5, p. 533-549, 1986.

GOTTLIEB, S. **Crime analysis: From first report to final arrest**. Alpha, 1994. 596 p.

HAGERSTRAND, T. **Innovation Diffusion as a Spatial Process**. University of Chicago, 1968. 350 p.



HALL, S. **A Group Theoretic Tabu Search Approach to the Traveling Salesman Problem**. 2000. Dissertação - Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB OH. 2000.

HARDER, R. **OpenTS - Java Tabu Search**. Disponível em: <<http://www.coin-or.org/Ots/index.html>>. Acesso em: 22 jan. 2009.

HARDER, R. W.; HILL, R. R.; MOORE, J. T. **A Java universal vehicle router for routing unmanned aerial vehicles**. 2002. Dissertação - Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB OH. 2002.

HARMS, S. K.; DEOGUN, J.; GODDARD, S. Building knowledge discovery into a geo-spatial decision support system. **Symposium on Applied Computing**, p. 445-449, 2003.

ICA. **International Cartographic Association**. Disponível em: <<http://www.icaci.org/>>. Acessado em: 22 jan. 2009.

JAIN, A.; MURTY, M.; FLYNN, P. Data Clustering: A Review. **ACM Computer Survey**, v. 31, n. 3, p. 264-323, 1999.

JEFFERIS, E. **A Multi-Method Exploration of Crime Hot Spots: A Summary of Findings**. Washignton, DC: U.S. Justice Departament, National Institute of Justice, Crime Mapping Research Center. 1999.

KELLER, P. R.; KELLER, M. M. **Visual Cues, Practical Data Visualization**. Institute of Eletrical & Eletronics Engineering. 1992. 229 p.

KINNEY, G.; HILL, R.; MOORE, J. T. **A hybrid tabu search heuristic for the unmanned aerial vehicle (UAV) routing problem**. 2000. Dissertação - Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB OH. 2002.

KONTORAVDIS, G.; BARD, J. F. A Grasp for the vehicle routing problem with time Windows. **ORSA Journal of Computing**, v. 7, p. 10-23, 1995.

KRAAK, M. J. Geovisualization illustrated. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 5, p. 390-399, 2003a.

KRAAK, M. J. The Space-Time Cube Revisited From a Geovisualization Perspective. **Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Cartographic Conference**, 2003b.

KRAAK, M. **ITC - Cartography**. Disponível em: <<http://www.itc.nl/personal/kraak/1812>>. Acessado em: 22 jan. 2009.

LANGRAN, G. **Time in geographic information systems**. CRC Press. 1992. 189 p.

LAPORTE, G. The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1992.

LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions in Operational Research**, v. 7, n. 4-5, p. 285-300, 2000.

- LAWLER, E. L., et al. **The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization**. Wiley. 1985. 476 p.
- LENSTRA, J. K.; KAN, A. H. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. **Networks**, v. 11, n. 2, p. 221-227, 1981.
- LEUNG, Y. K.; APPERLEY, M. D. A Review and Taxonomy of Distortion-Oriented Presentation Techniques. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, v. 1, n. 2, p. 126-160, 1994.
- LOCH, R. E. **Cartografia: Representação, Comunicação e Visualização de Dados Espaciais**. UFSC. 2006. 313 p.
- LONGLEY, P. A., et al. **Geographic Information Systems and Science**. John Wiley & Sons. 2005. 472 p.
- MACEACHREN, A. M. Visualization in modern cartography: setting the agenda. **Visualization in Modern Cartography**, p. 1-12, 1994c.
- MACEACHREN, A. M.; KRAAK, M. J. Research challenges in geovisualization. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 28, n. 1, p. 3-12, 2001.
- MACEACHREN, A. M.; KRAAK, M. J. Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. **Computers & Geosciences**, v. 23, n. 4, p. 335-343, 1997.
- MORRISON, J. L. A theoretical framework for cartographic generalization with the emphasis in Cartographic Communication. **International Yearbook of Cartography**, v. 14, p. 115-127, 1974.
- NASCIMENTO, H.; FERREIRA, C. Visualização de Informações – Uma Abordagem Prática. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 25., 2005, São Leopoldo, RS, Brasil. **Anais...** São Leopoldo: UNISINOS, 2005. p. 1262-1312.
- NIST. **National Institute of Standards and Technology**. Disponível em: <<http://www.nist.gov>>. Acessado em: 22 jan. 2009.
- OLIVEIRA, H. C. **Um modelo híbrido estocástico para tratamento do problema de roteamento de veículos com janela de tempo**. 2007. Dissertação – Universidade Federal de Pernambuco. 2007.
- O'ROURKE, K. P., et al. Dynamic Routing of Unmanned Aerial Vehicles Using Reactive Tabu Search. **MORS**, v. 6, n. 1, p. 5-30, 2001.
- OSM. **OpenStreetMaps**. Disponível em: <<http://www.openstreetmap.org>>. Acessado em: 22 jan. 2009.
- OSMAN, I. H. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. **Annals of Operations Research**, v. 41, n. 1-4, p. 421-451, 1993.
- PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; ZIMÁNYI, E. Spatio-temporal conceptual models: data structures + space + time. **Geographic Information Systems**, p. 26-33, 1999.

PEUQUET, D. J.; DUAN, N. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 9, n. 1, p. 7-24, 1995.

PFOSER, D.; JENSEN, C. S. Indexing of network constrained moving objects. **Geographic Information Systems**, p. 25-32, 2003.

POSTGRESQL. Disponível em: <<http://www.postgresql.org>>. Acessado em: 22 jan. 2009.

ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; GUPTILL, S. C. **Elements of Cartography**. Wiley. 1995. 688 p.

ROCHAT, Y.; TAILLARD, E. D. Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing. **Journal of Heuristics**, v. 1, n. 1, p. 147-167, 1995.

RODDICK, J. F.; SPILIOPOULOU, M. A Bibliography of Temporal, Spatial and Spatio-Temporal Data Mining Research. **SIGKDD Explorations**, v. 1, n. 1, p. 34-38, 1999.

RODDICK, J. F.; SPILIOPOULOU, M. A Survey of Temporal Knowledge Discovery Paradigms and Methods. **IEEE Trans. Knowl. Data Eng. (TKDE)**, v. 14, n. 4, p. 750-757, 2002.

ROTH, S. F., et al. Toward an Information Visualization Workspace: Combining Multiple Means of Expression. **Human-Computer Interaction**, v. 12, n. 1, p. 131-185, 1997.

SHERMAN, L. W. Hot Spots of Crime and Criminal Careers of Places. **Crime Prevention**, v. 4, 1995.

SIEBER, R.; HUBER, S. **Atlas of Switzerland 2 - A highly interactive thematic national atlas**. Institute of Cartography. 2007.

SILVA, C. E. **Uma Análise Crítica dos Homicídios na Cidade de Belém e suas Variáveis**. 2007. 57 f. Dissertação – Instituto de Geriatria e Gerontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2007.

SLOCUM, T. A., et al. MapTime: Software for Exploring Spatiotemporal Data Associated with Point Locations. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, v. 37, n. 1, 2006.

SOLOMON, M. M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. **Operations Research**, v. 35, n. 2, p. 254-265, 1987.

SOLOMON, M. M.; DESROSIERS, J. Time Window Constrained Routing and Scheduling Problem. **Transportation Science**, v. 22, n. 1, p. 1-13, 1988.

SUN MICROSYSTEMS. **Java**. Disponível em: <<http://java.sun.com>>. Acessado em: 22 jan. 2009.

TAILLARD, E., et al. A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. **TOP**, v. 10, n. 2, p. 211-237, 2002.

THANGIAH, S. R.; OSMAN, I. H.; SUN, T. Hybrid Genetic Algorithm, Simulated Annealing and Tabu Search Methods for Vehicle Routing Problems with Time Windows. **Practical Handbook of Genetic Algorithms**, v. 3, p. 347-381, 1994.

TUFTE, E. R. **The Visual Display of Quantitative Information**. Graphic Press. 2001. 197 p.

TURKEY, J. **Exploratory data analysis**. Addison Wesley. 1997. 688 p.

VERBREE, E., et al. Interaction in virtual world views-linking 3D GIS with VR. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 13, n. 4, p. 385-396, 1999.

VISVALINGAM, M. Cartography, GIS and Maps in Perspective. **Cartographic J.**, v. 26, n. 1, 1989.

YAO, X. Research Issues in Spatio-Temporal Data Mining. **Workshop on Geospatial Visualization and Knowledge Discovery**. 2003.

YI, B., MEDEIROS, C. B. Um modelo de dados para objetos móveis. **GeoInfo**. 2002.