

Igor Raposo Rocha

Aplicação de GIS para Monitoramento de
Trânsito em Tempo Real no município de
Belo Horizonte

IX Curso de Especialização em Geoprocessamento
2006



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartografia@igc.ufmg.br

IGOR RAPOSO ROCHA

Aplicação de GIS para Monitoramento de Trânsito em Tempo Real no município de Belo Horizonte

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geoprocessamento, Departamento e Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Clodoveu Davis

Belo Horizonte, 2006

Rocha, Igor Raposo Rocha

Aplicação de GIS para Monitoramento de Trânsito em Tempo Real no município de Belo Horizonte/Igor Raposo Rocha.- Belo Horizonte, 2006.

lxi, 61 .:il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia, 2006.

Orientador: Clodoveu Davis

1. Monitoramento de Trânsito 2. Geoprocessamento 3. GIS/SIG 4. Comunicação Móvel

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, amigos e professores do curso.

A Lithos Geologia Engenharia e Meio Ambiente pelas inúmeras oportunidades e pela colaboração.

E ao competantíssimo analista de sistemas e amigo Flávio Tobias pela enorme colaboração e paciência.

RESUMO

Este trabalho tem como ponto relevante apresentar os parâmetros básicos necessários para o funcionamento de um Sistema de Monitoramento de Trânsito em Tempo Real, inicialmente voltado para a cidade de Belo Horizonte, baseado em modelagem e análise de dados dinâmicos em ambiente SIG/GIS (Sistema de Informação Geográfica).

A proposta de criação de um “Sistema de Monitoramento de Trânsito” tem por objetivo principal coletar dados sobre o fluxo de trânsito nas vias e transmiti-los (via protocolo GPRS) em tempos pré-determinados a um servidor central, atualizando o banco de dados do SGBDG (sistema gerenciador de banco de dados geográficos).

Assim, com o banco de dados atualizado e sempre provido de informações reais e confiáveis sobre o fluxo de veículos nas vias, os órgãos públicos municipais gerenciadores de trânsito passam a ter em mãos, uma ferramenta em ambiente SIG/GIS, com os dados reais do fluxo de veículos, mensurados em locais e horários determinados, que constitui uma ferramenta extremamente útil para o diagnóstico do comportamento do tráfego urbano para fins de planejamento do trânsito de uma grande metrópole.

Devido às inúmeras facilidades oferecidas pelas atuais tecnologias computacionais e de telecomunicação móvel, qualquer cidadão através da internet (WEBGIS), ou até mesmo pelo celular poderá, por exemplo, solicitar uma rota a qual a condição do trânsito em um determinado trajeto de interesse esteja favorável em relação a outros possíveis itinerários, colaborando diretamente para uma melhor distribuição do fluxo de veículos nas principais vias da cidade e abrindo várias possibilidades de prestação de serviços à população.

SUMÁRIO

	<i>Pág.</i>
Capítulo 01 - Introdução, Objetivos e Justificativa	11
1.1 – Introdução	11
1.2 – Objetivos	13
1.2.1 – Objetivo Geral.....	13
1.2.2 – Objetivos Específicos.....	13
1.3 – Justificativa	14
Capítulo 02 – Fundamentos Teóricos	15
2.1 - Dinâmica do Tempo e Espaço.....	15
2.2 – Características do Tráfego.....	16
2.2.1 – Capacidade das vias.....	17
2.2.2 – Hierarquia das vias.....	18
2.3 – Municipalização do trânsito	19
2.4 – Tecnologias de apoio no controle de tráfego	20
2.4.1 – Geoprocessamento.....	21
2.4.1.1 – Aspectos da Geoinformação.....	24
2.4.2 – Sistemas de Informação Geográfica (GIS/SIG).....	25
2.4.3 – Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Geográficos	26
2.4.4 – Modelagem de Dados Dinâmicos em ambiente SIG/GIS.	27
2.4.5 – Qualidade e Mineração de Dados (data mining) Dinâmicos.....	29
2.4.6 – Algoritmo de Roteamento.....	30
2.4.7 – Telecomunicação Móvel.....	31
2.4.7.1 – Protocolo GPRS.....	33
Capítulo 03 – Área de Estudo	36
3.0 – Aspectos Gerais de Belo Horizonte	36
3.1 – Aspectos Demográficos e Regionais Administrativas	35
3.2 – Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	39
3.3 – Órgão de gerenciamento de trânsito em Belo Horizonte	40
3.4 – Trânsito de Belo Horizonte	42
Capítulo 04 - Metodologia	43
4.0 – Sistema de Monitoramento de Trânsito.....	43
4.1 – Módulo de transmissão e afins	44
4.2 - Estrutura da base cartográfica	45

4.3 – Simulações do Sistema de Monitoramento de Trânsito.....	47
4.4 – Simulações na cidade de Belo Horizonte.....	48
4.5 – Análise Custo X Benefício.....	54
CAPÍTULO 05 - CONCLUSÃO	57
5.0 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
CAPÍTULO 06 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

Lista de Figuras

Fig.1 – Representação diagramática das trilhas diárias de tempo-espaço	16
Fig.2 - Simulação de variações do tráfego segundo as horas do dia	17
Fig. 3 - Parâmetros do Geoprocessamento	22
Fig. 4 – Celular e PocketPc	31
Fig. 5 – Sistema de transmissão celular	32
Fig. 6 – Mapa das Regionais Administrativas de Belo Horizonte	37
Fig. 7 – Eixo Viário de Belo Horizonte	38
Fig. 8 – Sinalização nas vias de BH	41
Fig. 9 – Funcionalidades: Rede de Monitoramento Urbano	44
Fig. 10 – Módulo de transmissão via GPRS	45
Fig. 11 – Base digital com os eixos de ruas de BH	45
Fig. 12 – Duas linhas distintas interligadas	46
Fig. 13 – Foto Aérea com base cartográfica digital sobreposta.....	46
Fig. 14 – Rotas mais comum entre origem e destino	46
Fig. 15 – Mapa temático dos fluxos de trechos	49
Fig. 16 – Rotas mais rápida entre origem e destino	49
Fig. 17 – Rotas mais comum entre origem e destino	50
Fig. 18 – Mapa temático dos fluxos de trechos	50
Fig. 19 – Rotas mais rápida entre origem e destino	51
Fig. 20 – Condição de Tráfego no sistema viário da terceira simulação de rota realizada.....	52
Fig.21 – Fotos dos principais logradouros do itinerário da rota mais rápida.....	53
Fig. 22 - Fotos dos principais logradouros do itinerário da rota mais comu.....	53
Fig. 23 – Mapa e Gráfico indicando trechos constantemente congestionados	54

SIGLAS E TERMOS

Área de cobertura – Área geográfica de abrangência de uma estação radiobase

CDMA – Acesso Múltiplo por Divisão de Código (Code Division Multiple Access), usa uma técnica de espalhamento espectral que consiste na utilização de toda a largura da banda do canal para transmissão. Com essa tecnologia, um grande número de usuários acessa simultaneamente um único canal da estação radiobase sem que haja interferência entre as conversas.

GEOGRAFIA IDIOGRÁFICA – denominação de Geografia Regional.

GIS – Sigla de Geographic Information System ou Sistema de Informação Geográfica.

GPRS – General Packet Radio Service, serviço de comunicação sem fio baseado em pacotes para tecnologia de telefonia móvel padrão GSM

GPS - Sigla de Global Positioning System, tecnologia de localização geográfica de altíssima precisão que fornece as coordenadas do local onde está o portador do aparelho equipado com essa tecnologia

GSM – Global System for Mobile Communications, ou sistema global para comunicações móveis. Padrão digital para telefonia móvel amplamente usado na Europa e cuja presença está em expansão na América Latina, inclusive Brasil, onde será adotado para serviços das bandas C, D e E.

ONLINE – em tempo real

SIG - Sigla de Sistema de Informação Geográfica ou Geographic Information System.

SMS – Short Message Service, ou serviço de mensagens curtas. Tecnologia que habilita telefones celulares a receber mensagens alfanuméricas, de modo similar a um aparelho Pager.

TELEMETRIA – comunicação entre máquinas, que permite o controle e monitoramento dos equipamentos.

TDMA – Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, um dos padrões de comunicação de voz via ondas de rádio, usado por operadoras nos serviços de telefonia celular digital. Consiste na divisão de cada canal celular em três períodos de tempo para aumentar a quantidade de dados que pode ser transmitida.

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

1.1 - INTRODUÇÃO

Os esforços no sentido de uma compreensão mais profunda sobre fenômenos naturais em dimensões espaço-temporais, com a finalidade de representá-los sob a forma de modelos espaciais dinâmicos, constituem-se em uma das mais promissoras agendas de pesquisa no atual estado das Geotecnologias.

No caso particular dos modelos de simulação de dinâmicas urbanas, o objetivo é o de oferecer meios explícitos de exploração e visualização das conseqüências de estratégias alternativas para o desenvolvimento do ambiente urbano. “(...) *os SIG permanecem ainda com enfoque restrito (...) e privados de recursos de simulação e modelagem tão relevantes no mundo moderno(...)*” (Openshaw, 2000).

Os problemas e as dificuldades existentes no trânsito, associados com a movimentação dentro das grandes cidades, são evidentes e públicos, e destacam-se diariamente na vida dos motoristas e transeuntes urbanos. Embora esses problemas não sejam recentes, eles passaram a ter dimensões mais dominantes com o crescimento das populações urbanas e o rápido aumento da utilização e propriedade de veículos motorizados.

Para se ter uma idéia da gravidade do fato, na Roma antiga, Júlio César proibiu o tráfego sobre duas rodas durante o dia, medida que foi estendida pra outras províncias com intuito de limitar o acesso e garantir o mínimo de circulação. Em 1500, Leonardo da Vinci, prevendo uma solução revolucionária para os problemas de trânsito, sugeriu separar o trânsito de veículos e pedestres pela criação de rotas em dois diferentes níveis. Na Europa do século XVII, os congestionamentos levaram a proibição do estacionamento em certas áreas e à criação vias de mão única, uma revolução no trânsito da época. Recentemente, a prefeitura de São Paulo se viu forçada a fazer um rodízio de carros pelo dígito final da placa, onde em cada dia da semana não pode circular carros com a numeração final pré-determinados, tudo isso devido aos excessos de congestionamentos.

Assim, novos problemas surgem e os antigos se agravam a cada dia em que se deixa de implementar soluções práticas e viáveis para essas situações rotineiras do trânsito.

“Os problemas de congestionamentos nos centros urbanos deveriam servir como termômetro para casos de estudos na Engenharia de Tráfego. O congestionamento serve como equilíbrio entre as atividades na utilização dos terrenos e a capacidade de transporte. Assim, o simples fato de aumentar a capacidade das vias para reduzir o congestionamento constitui um remédio temporário, pois geralmente a demanda de veículos sobe novamente até alcançar os mesmos níveis de retardamento anteriores”. (Blunden APUD Soares, 1975)

Como um bom exemplo, pode-se citar a implementação do sistema de semáforos luminosos, fato que na época de sua idealização provocou inúmeras críticas ao sistema, sob as mais diversas alegações, como o aumento do custo no controle do trânsito, a pouca eficiência do sistema, a prioridade para implementação de outros sistemas mais “essenciais”, indisponibilidade de recursos financeiros etc. Diante a realidade em que vivemos hoje no trânsito e pela falta de um sistema mais eficiente, o semáforo luminoso tornou-se essencial para circulação de veículos e pedestres no trânsito das grandes cidades, apesar de inúmeros especialistas dos mais diversos ramos na época serem contra o sistema na sua fase de implantação.

O planejamento do trânsito deverá objetivar não só as ineficiências óbvias dos sistemas de transporte tais como os congestionamentos, produzindo propostas para construção e reformulação das condições físicas das vias, alterando estas ou construindo obras diversas como inúmeros viadutos, mas sim compreender o potencial do trânsito ao ambiente urbano pela influência da acessibilidade de locais dentro da área urbana. Um modo prático de resolver o problema está no simples fato de compreender melhor a dinâmica do trânsito em determinados locais da cidade, tudo isso de maneira simultânea, para que a partir daí seja possível trabalhar os dados disponíveis e, conseqüentemente, melhorar a distribuição do fluxo de trânsito das principais vias.

Desta maneira, a coleta de dados sobre o fluxo de veículos torna-se primordial para um bom planejamento do trânsito e, conseqüentemente, uma otimização da distribuição deste. A necessidade de um número considerável de dados é essencial para a eficiência de sua análise. Deve-se coletar os dados sobre a volume do fluxo de maneira simultânea em diversos pontos, avaliando sua tendência, para que se possa determinar a melhor distribuição do uso do solo e população em um território. Com as dificuldades em obter dados precisos devido aos expressivos gastos de tempo, recursos

humanos e financeiros, a criação de um Sistema de Monitoramento de Trânsito torna-se tão essencial para um adequado planejamento do trânsito de uma grande cidade quanto o sistema de semáforos dos dias atuais.

É bom deixar claro que o monitoramento de tráfego é, fundamentalmente, a supervisão do movimento de veículos, sejam esses de pequeno, médio ou grande porte, com o objetivo de garantir a eficiência de uma melhor distribuição do fluxo e uma automatização na obtenção de dados estatísticos para decisões práticas na melhora de outros parâmetros de trânsito, tais como tempo de parada nos semáforos, limites de velocidades, rotas alternativas, desvios alternativos, hierarquização das vias, mudança na sinalização e mão de direção.

“O monitoramento de trânsito para congestionamentos relacionados a um planejamento inadequado da via pode ajudar, porém não substitui um adequado projeto viário” (ABRAMCET, 2000)

Congestionamentos causados pelo aumento do fluxo de veículos não estimados para determinadas vias podem ser resolvidos com uma melhor distribuição do fluxo, o que ocorre freqüentemente nos grandes centros urbanos onde a maioria das vias arteriais ou locais ficam saturadas em alguns trechos e horários.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 – Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é apresentar os parâmetros necessários para o funcionamento de um Sistema de Monitoramento de Trânsito “On-line” em ambiente GIS/SIG (Sistema de Informações Geográficas) capaz de monitorar o trânsito de uma cidade em tempo real, bem como apresentar e caracterizar os componentes necessários para o adequado e completo funcionamento de um SIG/GIS que trabalha com dados dinâmicos, como é o tráfego urbano, simulando algumas situações nas vias de Belo Horizonte.

1.2.2 – Objetivos Específicos

- Apresentar de forma sucinta a estrutura necessária para o funcionamento de um “Sistema de Monitoramento de Trânsito On-line”.

- Demonstrar o funcionamento do SIG agregado aos outros componentes do sistema.
- Delimitar e caracterizar a área como objeto de estudo (município de Belo Horizonte).
- Apresentar a estrutura topológica e alfanumérica de uma base cartográfica digital necessária para atualização das informações de fluxo de trânsito coletados em tempos pré-determinados na vias.
- Simular alguns eventos a fim de demonstrar o funcionamento do Sistema de Monitoramento de Trânsito e os resultados processados por um software SIG/GIS.

1.3 - JUSTIFICATIVA

A coleta de dados sobre o fluxo de veículos de maneira simultânea e em menores faixas de tempo, logicamente associada a um custo operacional viável, torna-se primordial para um bom planejamento do trânsito, considerado nos dias atuais como um dos principais problemas dos grandes centros urbanos.

Uma “ferramenta SIG/GIS” aplicada ao planejamento do trânsito deverá não só apresentar as ineficiências óbvias dos sistemas de transporte tais como os congestionamentos, mas sim compreender o potencial do trânsito ao ambiente urbano pela influência da acessibilidade de locais, propondo também uma distribuição espacial criteriosa do mesmo. Para tal, torna-se extremamente necessária a utilização de dados confiáveis e constantemente atualizados, tendo em vista que o fluxo de veículos nas vias das grandes metrópoles deve ser tratado como um dado dinâmico, com freqüentes e rápidas modificações.

CAPÍTULO 02 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Nesse capítulo são abordados alguns conceitos teóricos fundamentais para uma melhor compreensão deste trabalho, bem como a identificação e caracterização das principais técnicas e tecnologias envolvidas na estrutura de funcionamento (captação, transmissão, atualização e acesso público/restrito) aos dados coletados por um “Sistema de Monitoramento de Trânsito OnLine”.

2.1 – Dinâmica do Tempo e Espaço.

Existe uma grande dificuldade por parte da maioria das ciências em trabalhar simultaneamente com espaço e tempo. *“O espaço e tempo são categorias básicas da existência humana” (...)* *“Registramos a passagem do tempo em segundos, minutos, horas, dias, meses, anos, décadas, séculos e eras, como se tudo tivesse o seu lugar numa única escala temporal objetiva”.* (HARVEY, 1992)

Segundo Harvey, na sociedade moderna, muitos sentidos distintos de tempo se entrecruzam, embora o tempo na física seja um conceito difícil e objeto de contentas, não costumando deixar que isso interfira no sentido comum de tempo, em torno do qual organizamos rotinas diárias. Quanto ao espaço, Harvey trata o conceito como um fato da natureza, “naturalizado” através da atribuição de sentidos cotidianos comuns. Sob certos aspectos mais complexos do que o tempo – tem direção, área, forma, padrão e volume como principais atributos, bem como a distância, sendo tratado tipicamente como um atributo objetivo das coisas que pode ser medido e, portanto, apreendido.

“O tempo e espaço, propõem hoje amplamente os físicos, não tinham existência (para não falar de significado) antes da matéria; em conseqüência, as qualidades objetivas do tempo-espaço físico não podem ser compreendidas sem que se levem em conta as qualidades dos processos materiais” (...) *“Dessa perspectiva materialista, podemos afirmar que as concepções do tempo e do espaço são criadas necessariamente através de práticas e processos materiais que servem à reprodução da vida social”.* (HARVEY, 1993)

Para caracterização das práticas cotidianas, sejam elas individuais e coletivas, Harvey, utiliza-se da descrição formulada na geografia temporal. Nela, os *“indivíduos são considerados agentes movidos por um propósito engajados em projetos que*

absorvem tempo através do movimento de espaço”. (HAGERSTRAND APUD Harvey, 1993)

Para Hagerstrand, segundo Silva (1995) a representação diagramática descreve como a vida diária das pessoas se desenrola no espaço e tempo (Figura 1). Segundo Harvey, nada se diz como são produzidas “estações” e “domínios” ou porque a “fricção da distância” varia da maneira como polpavelmente o faz.

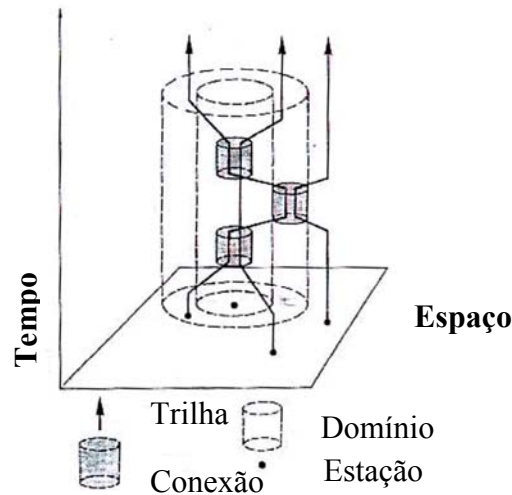


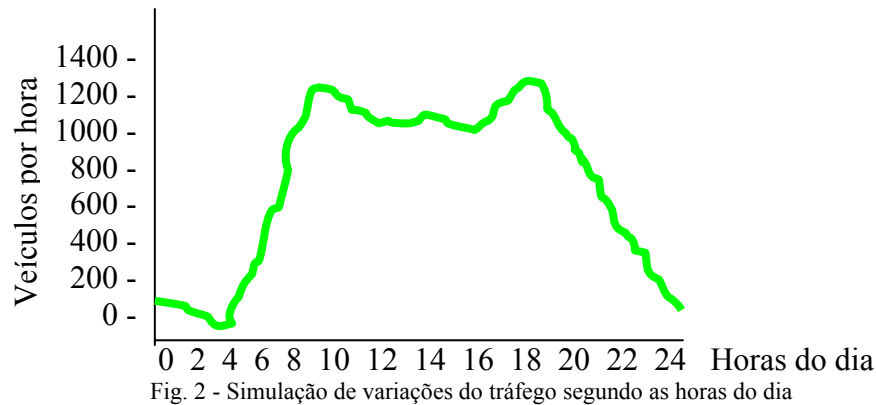
Fig.1 – Representação diagramática das trilhas diárias de tempo-espaço segundo Hagerstrand (1970)

2.2 – Características do Tráfego

Como um dos objetivos do presente trabalho é apresentar as funcionalidades de uma ferramenta em ambiente SIG/GIS que modela e analisa dados dinâmicos, buscando uma melhor adequação e distribuição para os volumes de tráfego é importante destacar a importância das variações nesse volume.

O primeiro fato a ser relacionado é que o volume de tráfego nunca deve ser considerado como estático. Daí a precisão dos dados ser limitada ao tempo da contagem, o que reforça a idéia dos dados que serão analisados serem obtidos simultaneamente, fato que não ocorre em grande parte dos estudos de casos sobre tráfego urbano.

Outro fato a ser citado é em relação à variação dos volumes de tráfego a diferentes períodos de tempo (ano, mês, dia, hora, minuto), não devendo o mesmo ser avaliado somente pelas características das vias e do próprio tráfego, sem relacionar diretamente com o fator tempo (relação Espaço X Tempo). Assim, o tráfego apresenta grandes variações em seu volume em curtos períodos de tempo (Figura 2).



Mas também as variações do volume de tráfego nem sempre são constantes e rápidos, e dependendo da região ou município em análise, algumas particularidades devem ser observadas. Em cidades litorâneas, por exemplo, é muito comum haver congestionamento em finais de semana e feriados devido o grande número de turistas atraídos ao local, em contrapartida em cidades “não turísticas”, é bastante comum haver um “esvaziamento” durante os fins de semana e feriados, com os congestionamentos ocorrendo principalmente nos dias úteis da semana e em ocasiões esporádicas, como um evento esportivo em determinada localidade.

2.2.1 – Capacidade das vias

É sabido, que o monitoramento do trânsito ajuda a minimizar as falhas no sistema de tráfego, mas não substitui um adequado projeto viário. Com tudo, a simples comparação entre o volume de tráfego previsto (demanda) e a capacidade de escoamento das vias (oferta) pode ser suficiente para um melhoramento do fluxo de veículos, através de modificações relacionadas com estacionamentos, sinalização de cruzamentos, restrições de conversões, tempo de semáforos a até mesmo nas orientações dos agentes de trânsito em campo. Assim, a busca de soluções em teorias fundamentais de congestionamento, como por exemplo, a distribuição do fluxo de trânsito, tende a minimizar o problema apenas evitando que a demanda não atinja sua saturação.

No entanto, primeiramente devem-se identificar as interferências seja do tráfego ou da via, sendo que tais interferências se relacionam da seguinte maneira:

- 1) Estacionamento, carga e descarga, paradas obrigatórias.
- 2) Movimentos convergentes, divergentes, travessia e etc.

- 3) Diferença de velocidade dentro da própria corrente de tráfego (oportunidade de ultrapassagem em decorrência do número de pistas, distância de visibilidade, declividade e etc).
- 4) Restrições laterais (pistas estreitas, faltas de acostamento, obstruções e etc).

Os três primeiros fatores se relacionam com as condições do tráfego, podendo sofrer modificações a qualquer momento, enquanto a última opção se relaciona às condições da via, só alterando somente com um melhoramento ou reconstrução da mesma.

Para efeito de cálculo de capacidade de escoamento de uma corrente de tráfego deve-se avaliar o espaçamento e a velocidade dos veículos, dada pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{1000 v}{S}$$

Onde: Q é a capacidade em veículo/hora/pista

V é velocidade Km/h

S é o espaçamento médio em metros de centro a centro dos veículos, sendo que esta última varia de acordo com a fórmula usada para calcular distâncias de frenagem, tempo de reação do motorista e coeficiente de atrito nos pneus.

2.2.2 – Hierarquia das Vias

A classificação das vias urbanas é instrumento fundamental no planejamento do tráfego urbano. Essa hierarquização é definida através de lei municipal, onde são estabelecidas as normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano.

No caso específico de Belo Horizonte, as vias públicas dos loteamentos são classificadas como: de ligação regional, arterial, coletora, local, mista, de pedestres e ciclovia.

Onde se entende por:

- *de ligação regional a via - ou trecho:* com função de fazer a ligação com municípios vizinhos, com acesso às vias lindeiras devidamente sinalizado.

- arterial a via - ou trecho: com significativo volume de tráfego, utilizada nos deslocamentos urbanos de maior distância, com acesso às vias lindeiras devidamente sinalizado
- *coletora a via - ou trecho*: com função de permitir a circulação de veículos entre as vias arteriais ou de ligação regional e as vias locais.
- *local a via - ou trecho*: de baixo volume de tráfego, com função de possibilitar o acesso direto às edificações.
- *mista a via - ou trecho*: destinada à circulação de pedestres e ao lazer, de baixo volume de circulação de veículos, na qual a entrada de veículos de carga aconteça apenas eventualmente.
- *de pedestres*: a via destinada à circulação de pedestres e, eventualmente, de bicicletas.
- *ciclovia a via ou pista lateral fisicamente separada de outras vias*: destinada exclusivamente ao trânsito de bicicletas.

2.3 – Municipalização do Trânsito

Como o Brasil possui mais de seis mil municípios e cada um com características próprias e interesses diversificados, a municipalização do trânsito foi um grande passo para a busca de soluções referentes aos problemas de trânsito.

“Uma das inovações mais significativas no Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei 9.503/97, foi à inclusão dos municípios no Sistema Nacional de Trânsito, atribuindo-lhes competência para atuar dentro de sua fronteira atendendo aos interesses locais” (PRAZERES, 1999).

Além da manutenção e conservação das vias de trânsito, atividade já inerente ao município, independente do Código Nacional de Trânsito, deve-se destacar as responsabilidades do município relativas aos mecanismos de funcionamento do trânsito, tais como:

- Administrar as vias públicas urbanas e rodoviárias municipais.
- Sinalizar as referidas vias na forma regulamentar otimizando seu uso.
- ***Operar o trânsito sobre elas de forma a evitar que seja prejudicado o fluxo de veículos e pedestres.***

- Promover o ensino de trânsito em sua rede escolar e realizar campanhas permanentes de prevenção de acidentes de trânsito.
- Elaborar e analisar estatísticas de acidentes de trânsito visando sua redução
- Fiscalizar, autuar, aplicar as penalidades de multa e aplicar as medidas administrativas previstas no CBT.
- Promover o registro de ciclomotores, bicicletas e outros veículos de propulsão humana e tração animal.
- Regulamentar o trânsito de veículos, pedestres e animais nas vias sob sua responsabilidade administrativas.

Para a integração do município ao CBT, há necessidades de determinadas providências sendo que essa integração é obrigatória. Assumindo a execução de todas atribuições que lhe cabe, o município terá que arcar com uma série de despesas e investimentos, dos quais podemos destacar: implantação de sistema de processamento de dados; aquisição, instalação e manutenção de equipamentos eletrônicos destinados à fiscalização e operação de trânsito; manutenção das vias urbanas; sinalização das vias, e outros.

Além da competência em gerenciar seus problemas no trânsito, o município garante inúmeras vantagens ao adequar-se ao CBT da forma que lhe for mais conveniente:

- Aumento da receita, com implantação dos serviços de estacionamento regulamentado; taxas de cadastramento de veículos; multas municipais por infração à legislação de trânsito, serviço de remoção e guarda de veículos; taxas para circulação de cargas perigosas e especiais.
- Melhoria da qualidade de trânsito urbano e conseqüente melhoria da qualidade de vida da população (desde que haja investimentos).
- Redução de custos hospitalares com a redução dos acidentes de trânsito.
- Abertura de novos empregos para o município.

2.4 – Tecnologias de apoio no controle de tráfego

Com os avanços tecnológicos nos dias atuais, dificilmente consegue-se separar os recursos computacionais, componentes eletrônicos e telecomunicação móvel as soluções oferecidas pela Engenharia de Tráfego e Planejamento Urbano para o trânsito de uma grande cidade.

Problemas como medição do volume e da densidade de tráfego de veículos, previsão de tráfego futuro, coordenação de transportes em geral, controle de semáforos, e entre outros problemas só poderão ser sanados ou minimizados com ajuda de tecnologias capazes de coletarem, transmitirem e processarem dados de maneira rápida e precisa.

Como os problemas relacionados ao trânsito não são estáveis, pelo contrário, são bastante dinâmicos tendendo-se a variações em um curto prazo de tempo, mecanismos de controle eficientes tornam-se indispensáveis para um adequado planejamento do trânsito. Se formos mais a fundo na questão, poderá perceber que se tratando de um grande centro urbano onde os eixos de ruas são interligados, e um problema ocorrido em um determinado local pode influenciar no rendimento do fluxo de trânsito em outros locais, a precisão dos dados torna-se ainda mais aguçada.

Para isso, é extremamente necessário conceitualizar e caracterizar as principais técnicas e tecnologias envolvidas nesse processo, do qual se pode destacar: o geoprocessamento, as ferramentas em ambiente SIG/GIS, a telecomunicação móvel e alguns recursos computacionais (algoritmos, sistemas de gerenciamento de banco de dados, hardware etc).

2.4.1 – Geoprocessamento

O Geoprocessamento compreende as atividades de aquisição, tratamento e análise de dados sobre a Terra. Isto envolve desde um conjunto de tecnologias para coleta de imagens da superfície terrestre, conhecido como Sensoriamento Remoto, até o processamento e análises desses dados, em forma de mapas digitais, usando-se os Sistemas de Informação Geográfica (GIS ou SIG), um ambiente computacional orientado à análise e interpretação de diversos fatos e fenômenos relacionados à Terra.

De caráter transdisciplinar, esse poderoso conjunto instrumental se aplica em diversos campos profissionais, tornando-se imprescindível para projetos que lidam com questões voltadas à organização, planejamento e gestão do território geográfico ou que envolvam análises espaciais em seus estudos. Para tanto, o Geoprocessamento incorpora tecnologias de última geração, envolvendo desde satélites de observação da Terra, técnicas de mensuração por sistemas de posicionamento GPS, até sofisticados programas e equipamentos de informática (Figura 5).



Fig. 3 - Parâmetros do Geoprocessamento

Segundo Câmara, a evolução do geoprocessamento e as teorias geográficas podem ser apresentadas na seguinte forma:

- Geografia Idiográfica (GIS anos 80): o conceito chave é a unicidade da região, expresso através de abstrações como a “unidade-área” (Hartshorne), “unidade de paisagem” (Trincard) e “land-unit” (Zonneveld). A representação computacional associada é o polígono como seus atributos e as técnicas de análise comuns, está o uso da interseção de conjuntos (lógica booleana).
- Geografia Quantitativa (GIS de hoje): o conceito chave é a distribuição espacial do fenômeno de estudo, expressa através de um conjunto de eventos, amostras pontuais, ou dados agregados por área. A representação computacional é associada é polígono com seus atributos e as técnicas de análise comuns, está o uso de interseção de conjuntos (lógica booleana).
- Geografia Quantitativa (GIS de amanhã): o conceito chave são os modelos preditivos como representação espaço temporal, onde a evolução do fenômeno é expressa através de representação funcional. Para capturar as diferentes relações dinâmicas, as técnicas de análise deverão incluir modelos multi-escala, que estabeleçam conexão com modelos macro-escala e fenômenos com modelos micro-escala.
- Geografia Crítica (GIS do futuro): aqui, os conceitos chaves incluem o espaço como “sistema de objetos sistema de ações” e a exposição de “espaço de fluxos” e “espaços de lugares”. Podemos apenas especular sobre as representações computacionais que serão utilizadas nesse contexto, que possivelmente possuem técnicas de Representação de Conhecimento.

Um dos grandes problemas existentes atualmente nas aplicações em GIS está na grande dificuldade em obtenção de dados, principalmente precisos e confiáveis, para consulta e análise de um Banco de Dados Geográficos, *“a obtenção dados em aplicações de geoprocessamento é um processo bem mais complexo se comparado a maiorias das aplicações”* (ARO, 1989).

No intuito de minimizar o problema, a US National Digital Cartographic Standard, propôs um conjunto de definições na tentativa de padronização de termos, conforme a seguir:

Identidade - Elementos da realidade modelada em um banco de dados geográfica têm duas identidades: o elemento na realidade, denominado entidade e o elemento representado no banco de dados, denominado objeto. Uma terceira identidade usada em aplicações cartográficas é o símbolo usado para representar entidades/objetos como uma feição no mapa.

Entidade - É qualquer fenômeno geográfico da natureza, ou resultante da ação direta do homem, que é de interesse para o domínio específico da aplicação.

Objeto - É a representação digital de uma entidade, ou parte dela. A representação digital varia de acordo com a escala utilizada (ex: um aeroporto pode ser representado por um ponto ou uma área, dependendo da escala em uso).

Tipo de Entidade - É a descrição de um agrupamento de entidades similares, que podem ser representadas por objetos armazenados de maneira uniforme (ex: conjunto das estradas de uma região). Fornece uma estrutura conceitual para a descrição dos fenômenos.

Tipo de Objeto Espacial - Cada tipo de entidade em um Banco de Dados Espacial é representado de acordo com um tipo de objeto espacial apropriado. A figura abaixo mostra os tipos básicos de objetos espaciais.

Classe de Objeto - Descreve um conjunto de objetos que representa um conjunto de entidades. Por exemplo, o conjunto de pontos que representam um conjunto de postes de uma rede elétrica ou o conjunto de polígonos representando lotes urbanos.

Atributo - Descreve as características das entidades, normalmente de forma não-espacial. Exemplos são o nome da cidade, diâmetro de um duto, etc.

Valor do atributo - Valor quantitativo ou qualitativo associado ao atributo (ex: nome da cidade)

Diante os fatos expostos, fica difícil tratar nos dias de hoje o Geoprocessamento sem citar as freqüentes evoluções no campo das telecomunicações em especial a

tecnologia móvel, pois como o dado é o elemento de tratamento e análise no Geoprocessamento a aquisição, transmissão e acesso em qualquer momento e local, torna-se uma ferramenta imprescindível na busca de soluções em planejamento urbano.

2.4.1.1 – Aspectos da Geoinformação

Um dos problemas mais inerentes na tecnologia de informação geográfica baseia-se na interdisciplinaridade dos conceitos estudados e trabalhados, onde o ponto de convergência de diversas áreas como a geografia, a engenharia, a informática, a estatística entre outras áreas não estabelece um conjunto de conceitos teóricos comuns a estas ciências.

Segundo Câmara, a “Geoinformação nada mais é do que é a construção de modelos computacionais que representam o espaço”. Assim, o aprimoramento da geoinformação pretende realizar uma revisão das diferentes concepções de espaço geográfico, estabelecendo que as aplicações em GIS permitam a expressão computacional dos diversos conceitos representados dentro das limitações atuais do geoprocessamento.

O conceito de unidade de área é apresentado por (Hartshorne, 1936) como elemento básico de uma sistemática de estudos geográficos, chamada pelo autor como “estudos de variações de área”, sendo que estas unidades de área seriam à base de um sistema de classificação e organização do espaço.

“O pesquisador seleciona dois ou mais fenômenos (p.ex. clima e tecnologia disponível), observa-os, relaciona-os; repete várias vezes esse procedimento, tentando abarcar o maior número de fenômenos. Uma vez de posse de vários fenômenos agrupados e interrelacionados, integra-os. (...) Este processo pode ser repetido várias vezes, até o pesquisador compreender o caráter da área enfocada (...) O pesquisador pode para na primeira integração e reproduzir a análise (tomando os mesmos fenômenos e fazendo as mesmas interrelações) em outros lugares. As comparações das integrações obtidas permitiriam chegar a um padrão de variação daqueles fenômenos tratados”. (Moraes, 1995)

Assim, um procedimento típico para aplicar a abordagem de Hartshorne em um ambiente de GIS (anos 80) seria:

- Tomando como base uma representação gráfica do espaço (imagem de satélite ou foto aérea) e levantamentos preliminares de campo, realiza-se uma delimitação de unidade de área na região de estudo.
- Como alternativa, utilizam-se dados de cartografia temática e análises booleanas para produzir um mapa de interseções dos diversos conjuntos de interesse. Estas interseções delimitam as unidades de área.
- Através de levantamentos de campo ou dá integração de dados disponíveis, caracteriza-se cada unidade de área com os atributos que a singularizam das demais unidades. O resultado é um banco de dados geográficos como unidades de áreas delimitadas por polígonos, com um conjunto de atributos para cada unidade.
- Através de ferramentas de consulta (p.ex. SQL) do GIS, pode-se inferir as relações conjuntas entre as diversas unidades de área.

“Adicionalmente, a tecnologia atual do geoprocessamento ainda enfatiza a representação de fenômenos espaciais no computador de forma estática. No entanto, um significativo número de fenômenos espaciais, tais como escoamento da água, planejamento urbano e dispersão de sementes, entre outros, são inerentemente dinâmicos e as representações estáticas utilizadas em GIS não capturam de forma adequada. Desde modo, um dos grandes desafios da ciência de informação espacial é o desenvolvimento de técnicas e abstrações que sejam capazes de representar adequadamente fenômenos dinâmicos”. (Câmara, 2001)

“Para representar conceitos de espaços-temporais, apenas a representação de superfície em grades regulares não é suficiente. As leis que governam a dinâmica dos processos (sejam estes físicos ou sociais), precisam ser expressas em equações iterativas, que incorporadas ao ambiente de GIS, permitem a simulações espaços-temporais”. (Burrough, 1998)

2.4.2 – Sistemas de Informação Geográfica (SIG/GIS)

Atualmente, a definição consensual literária para definir Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou Geographic Information System (GIS), é sem dúvida uma tarefa complicada. Talvez uma definição satisfatória para o termo pode ser dada como sendo

um sistema baseado em computador, que permite ao usuário coletar, armazenar, manusear e analisar dados georreferenciados. Pode ser visto como uma combinação de hardware, software, dados, metodologia e recursos humanos, que operam de forma harmônica para produzir e analisar informação geográfica (Teixeira *et al.* 1997). Para (THO, 1998), o termo sistema de informação geográfica, é aplicado para sistema que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Já (ROS, 1995), define SIG, como sistemas destinados a tratamento de dados referenciados espacialmente, sendo que a idéia básica consiste em tecnologia para aquisição, armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados espaciais.

Segundo (CAM, 1996), pode-se considerar que um SIG é dividido pelos seguintes componentes: interface com o usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e recuperação de dados. Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. A interface homem-computador define como o sistema e operado e controlado em nível mais próximo ao usuário, e em nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais. No nível mais interno, um sistema de gerencia de banco de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação de dados espaciais e seus atributos.

2.4.3 – Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Geográficos (SGBDG)

Para (Cam,1994), um sistema de gerência de banco de dados geográficos é um componente fundamental de um SIG/GIS, responsável por armazenar, manipular e recuperar os dados geográficos.

O sistema gerenciador de banco de dados geográficos deve garantir que as propriedades fundamentais SGBD convencionais sejam aplicáveis a dados geográficos. As propriedades incluem basicamente três requisitos fundamentais: eficiência para acesso e modificações de grandes volumes de dados; integridade no controle de acessos por inúmeros usuários; e persistência na manutenção de dados por longo tempo, independente dos aplicativos que acessam os dados.

“Os SIG precisam armazenar grandes quantidades de dados e torná-los disponível para operações de consulta e análise. Os Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) são ferramentas fundamentais para os SIG, embora muitos ainda utilizem sistemas de arquivos para fazer o gerenciamento dos

dados. Isto dificulta, por exemplo, o intercâmbio de dados e ainda obriga os usuários a conhecerem as estruturas internas de armazenamento de dados. Atualmente, a arquitetura mais empregada na construção dos SIG é a que utiliza um sistema dual, onde o SIG é composto de um SGBD relacional, responsável pela gerência dos atributos não-gráficos, acoplado a um componente de software, responsável pelo gerenciamento dos atributos espaciais". (FRA, 1988)

Segundo (CAM,1996), existem três arquiteturas básicas para implementação em um banco de dados geográficos, no qual destaca-se:

- **Arquitetura Dual:** essa arquitetura é utilizada em SGDB relacionais convencionais, onde os atributos convencionais são guardados no banco de dados (tabela) e um sistema separado trata de arquivar e armazenar os dados espaciais (CAM, 1994).
- **Arquitetura Baseada em Campos Longos:** essa arquitetura difere da anterior pelo fato de armazenar a representação geométrica dos objetos no campo longo do SGBD relacional. Entende-se por Campo Longo, uma cadeia binária de grande capacidade de armazenamento, onde pode-se depositar informação gráfica e numérica. Tanto a parte descritiva quanto a representação geométrica do objeto geográfico estão contidas no mesmo subsistema (THO, 1998).
- **Arquitetura Baseada em Mecanismo de Extensão:** essa arquitetura baseia-se em sistemas gerenciadores de banco de dados extensíveis. Assim, os sistemas fornecem mecanismos para definir um objeto geográfico como sendo a extensão do seu próprio ambiente. Para isso, tanto a parte descritiva quanto a geométrica, além das funções próprias de manipulação de ambas, são definidos dentro do SGDB Extensível, compondo um objeto geográfico (CAM, 1994).

2.4.4 – Modelagem de Dados Dinâmicos em ambiente SIG/GIS

As entidades do tráfego urbano (veículos motorizados) se deslocam no espaço e seus atributos, fenômenos e relacionamentos são dinâmicos ao longo do tempo. Contudo, o SIG/GIS está limitado à representação estática da realidade (Lagran, 1993). As características e os relacionamentos de entidades modeladas devem ser definidos de

modo a viabilizar o funcionamento e a aplicação da modelagem desenvolvida (Davis, 1998).

No caso específico do fluxo de trânsito, a representação da realidade deve considerar a localização (espaço) e dinamismo (tempo) de objetos e fenômenos, modelando atributos e relacionamentos de entidades geográficas (Konez e Adams, 2002).

Os sistemas de informação geográfica (SIG/GIS), no âmbito espacial, viabilizam a representação das entidades do sistema de tráfego de veículos, com seus atributos e relacionamentos topológicos, através de uma estrutura de bases de dado dual com suas caracterizações geográficas e descritivas. A capacidade de análise espacial e visualização de seus resultados, por esta estrutura dual, permitem que um SIG/GIS possibilite explicações e padrões não triviais do comportamento de tráfego urbano (Aranha, 2000), enquanto que nos parâmetros temporais, o SIG/GIS convencional deve se adaptar ou remodelar sua arquitetura de base de dados, a fim de suportar o caráter dinâmico de alguns dados (Michinori, 2002).

Segundo Langran (1993), essa nova estrutura deve possuir as seguintes funções de manuseio de dados dinâmicos, tais como: inventário, análise, atualização, controle de qualidade, programação e apresentação de dados.

- Inventário: armazenagem e descrição da área em estudo, incluindo modificações físicas e eventos de modificação computacional da base de dados.
- Análise: investigação de alterações em padrões espaciais ao longo do tempo, determinando as causa e efeitos.
- Atualização: os dados disponíveis são os mais recentes possíveis
- Controle de Qualidade: checa a validade e consistência dos dados novos em comparação a séries anteriores.
- Programação: permite efetuar operações padronizadas na base de dados.
- Visualização: geração e apresentação da evolução temporal de um fenômeno real.

Inúmeros autores (Zao *et al.*, 1997; Miller e Shaw, 2001), descrevem alguns modelos que buscam representar o espaço e tempo em ambiente SIG/GIS, tais como: modelo snapshot, modelo de atualização, modelo espaço-tempo, modelo multidimensional, modelo integrado e modelo de versões.

- Modelo snapshot: apresenta dados relativos a diferentes instantes de tempo, por meio de uma série sucessiva de camadas geográficas.
- Modelo de Atualização: armazena uma representação totalizada da realidade em uma base de dados relacional única. Ao sofrerem modificações, as entidades são atualizadas em sua base, através da criação de um novo registro.
- Modelo Espaço-Tempo: evolução do modelo anterior, criando novos objetos discretos a partir do objeto primitivo, sendo armazenados em uma estrutura relacional.
- Modelo Multidimensional: trata o tempo como quarta dimensão (x,y,z,t), tornando a topologia mais complexa e não explicitas a entidades espaciais.
- Modelo Integrado: incorpora três domínios (espacial, temporal e semântico)
- Modelo de Versões: produz uma nova versão da realidade quando ocorrem mudanças nas características da área de estudo. A incorporação das alterações é feita através de uma base de dados relacional por meio de três estruturas (tabelas, registros e atributos). É criado uma nova versão de base de dados, através de uma nova tabela, sempre que ocorrem modificações na entidade modelada. Essa estrutura facilita a recuperação de dados.

Qualquer uma das estruturas relacionais do modelo espaço-temporal de versões não busca reformular a arquitetura da base de dados do ambiente SIG/GIS (Meneses e Loureiro, 2003). Este modelo adapta a estrutura relacional dual do SIG/GIS de modo a incorporar a dimensão temporal.

2.4.5 – Qualidade e Mineração de Dados (data mining) Dinâmicos

Os dados coletados em campo podem apresentar falhas ou inconsistências, sendo caracterizadas pela ausência de dados, dados nulos, valores extremos geralmente associada a imperfeições na mensuração ou/e na transmissão dos dados (Shaladover, 2002). Para tal é necessário aferir qualidade aos dados coletados, com base em critérios e procedimentos específicos.

Dentre os critérios para definição da qualidade de dados coletados são definidos métodos práticos para correção de inconsistências na base de dados, dos quais podem ser destacados a otimização *fuzzy* e a filtragem digital. O primeiro procedimento utiliza a lógica *fuzzy* para estimarem valores de variáveis, no caso do fluxo de veículos, por meio de valores coletados em campo, considerando as restrições teóricas do fluxo do tráfego (Meneses e Loureiro, 2003). A lógica *fuzzy* supõe que um valor real de uma variável, num dado instante e local, está próximo do valor de campo. Assim, o processo de otimização *fuzzy* busca ajustar um valor próximo do valor real, através de uma combinação dos valores coletados em campo em um dado escopo espaço-temporal, respeitando o princípio da conservação do fluxo de veículos na rede viária (Kikuchi *et al.*, 2000). Já o processo de filtragem digital de dados, busca suavizar valores extremistas numa base de dados (Coifman, 1998).

Segundo (Francisco, 2002), a mineração de dados consiste em um processo de busca de padrões não triviais e estaticamente não representativos em grandes volumes de dados. Para (Klein *et al.*, 2002), a grande maioria das técnicas de mineração de dados derivam de três modelos básicos. O modelo fisco, com base em objetos pré-estabelecidos, replica objetos discriminatórios que podem ser observados de forma precisa numa base de dados. O modelo característico classifica e/ou identifica eventos por meios de dados geográficos. O terceiro e último, o modelo cognitivo, extrai informações de uma base de dados por meio de simulação e automatização do processo de tomada de decisão humana.

Dentre as técnicas de mineração de dados (*data mining*) destaque maior para lógica *fuzzy*, redes neurais, algoritmos genéticos, análise de agrupamento, espectrograma e procura relacional (Meneses e Loureiro, 2003).

2.4.6 – Algoritmo de Roteamento

O algoritmo de Dijkstra é sem duvida o mais famoso dos algoritmos para cálculo de caminho de custo mínimo entre vértices de um grafo e com certeza, na prática, o mais empregado (CORMEN *et al.*, 1996).

Escolhido um vértice como raiz da busca, este algoritmo calcula o custo mínimo deste vértice para todos os demais vértices do grafo. O algoritmo pode ser usado sobre grafos orientados (dígrafos), ou não, e admite que todas as arestas possuem pesos não negativos. Esta restrição é perfeitamente possível no contexto de redes de transportes,

onde as arestas representam normalmente distâncias ou tempos médios de percurso; poderão existir, no entanto, aplicações onde às arestas apresentam pesos negativos, nestes casos o algoritmo não funcionará corretamente.

A eficiência do algoritmo de Dijkstra depende basicamente das estruturas de dados usadas para implementar a fila de prioridade ao grafo.

2.4.7 – Telecomunicação Móvel

Os dispositivos móveis são hoje uma realidade freqüente e útil em vários segmentos: seja no universo corporativo, onde a troca de mensagens é essencial, passando por serviços de e-commerce, chegando a atingir o patamar de logística de soluções para o trânsito. Atualmente, contamos com vários dispositivos móveis: celulares, PDA's (Personal Digital Assistant), palmtops, pocketPc, entre outros (Figura 3).



Fig. 4 – PocketPc e Celular,

A mobilidade se tornou algo imprescindível, a cada dia que passa necessitamos de respostas e dados mais precisos e reais, pois deixamos obter dados em locais e horas fixas para obter os mesmos dados a qualquer momento e local em que desejarmos.

Sem dúvida a tecnologia que mais representa essa realidade é o celular (Figura 4). Os primeiros telefones móveis que surgiram funcionavam de modo analógico, sendo que a segunda geração já utilizava sistema digital. Os celulares analógicos funcionam segundo as especificações dos padrões IS-54 e IS-135. Os digitais segundo o padrão IS-41 e IS-95. O IS-54 funciona de modo duplo (analógico e digital), utiliza o canal de 34 KHz do AMPS. Sendo capaz de empacotar 48,6 Kpbs em cada canal e compartilhar entre 3 usuários simultâneos, cada um com 13 Kpbs e o restante utilizando como overhead de controle e de tempo.

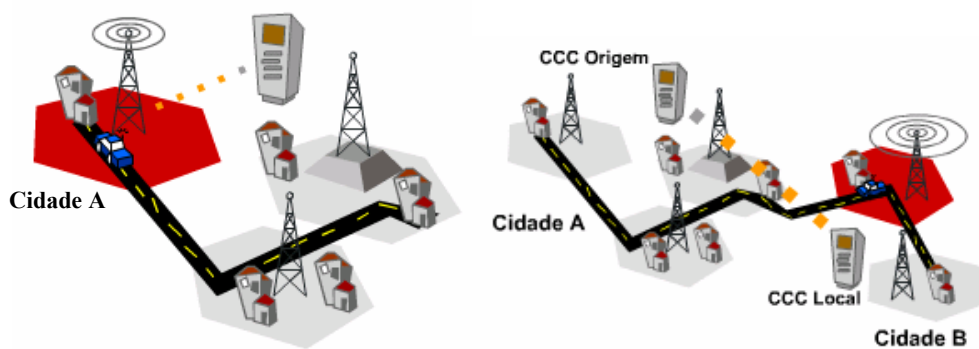


Fig.5 – Sistema de transmissão celular

Na Europa, cinco sistemas analógicos distintos eram utilizados em países diferentes, isso levou os europeus a criarem um sistema único denominado GSM, capaz de operar numa nova faixa de frequência (1,8 GHz) e utilizar sempre que possível a faixa de 900 MHz. Atualmente, existem fabricantes que ainda adotam o padrão TDMA (Time Division Multiple Access) quanto o CDMA (Code Division Multiple Access) para celulares, porém a grande tendência mundial seja o uso de outras tecnologias como GPRS (General Packet Radio Service).

“Imagine que você está no centro da cidade quando seu celular recebe uma mensagem informando que uma grande amiga está muito próxima, a poucos metros de você, e pergunta se deseja que o sistema ligue para ela. Você imediatamente aceita, e em alguns segundos está falando com ela e marcando de se encontrarem logo ali na esquina. Devido ao horário resolvem almoçar, e você consulta seu celular para saber onde fica o restaurante indiano mais próximo de onde vocês estão. O sistema lhe informa que o restaurante indiano que aceita seu cartão de crédito e que fica mais próximo de vocês é o Rajis, que fica na rua Novo Brasil número 2003. Infelizmente você não conhece muito bem esta região da cidade e, novamente apela para o celular que desta vez lhe envia a rota (o itinerário) do local onde vocês estão até a porta do restaurante Rajis. Seguindo a rota do tipo "turn-by-turn", você rapidamente chega ao Rajis que naturalmente já recebeu uma chamada de seu celular reservando uma boa mesa para dois, resultando num agradável almoço em excelente companhia, sem surpresas embaraçosas, sem caminho errado e com muita praticidade!”.
(BARROS, 2002)

Parece um cenário futurístico, mas a avançada tecnologia dos aparelhos celulares da chamada terceira geração que utilizam, por exemplo, Serviços Baseados em

Localização (LBS), promete o fim das fronteiras entre comunicação, informação, mídias e entretenimento, como possibilidade de acesso de e para qualquer lugar, a qualquer hora e a partir de qualquer dispositivo móvel.

2.4.7.1 – Protocolo GPRS

O General Packet Radio Service (GPRS) é uma extensão do Global System for Mobile Communication (GSM) desenvolvida para suportar transmissão de dados orientada a pacotes. Esse serviço foi desenvolvido para melhorar o acesso a serviços baseados em IP quando comparados aos atuais serviços baseados em chaveamento de circuitos das redes GSM (BRA, 1997).

O GPRS provê transparência de suporte ao IP e isso permite sua integrabilidade com a Internet. Assim, aplicações do tipo WWW, FTP e e-mail podem ser atendidas por esse serviço. O GPRS utiliza uma estrutura de pacotes de rádio que pode ser usada para carregar protocolos de pacotes de dados de usuários, como o IP ou o X.25, de terminais GPRS para outros terminais GPRS e/ou para redes de dados externas. Alguns serviços específicos, como ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto passam a ser suportados e os serviços de mensagens curtas (SMS) utilizados atualmente nos canais de sinalização também podem ser transmitidos via GPRS (BRA, 1997).

O GPRS provê qualidade de serviço (QoS). O parâmetro de QoS está associado com cada solicitação de serviço recebida pelo Ponto de Acesso de Serviço de Rede (*Network Service Access Point* – NSAP). Os principais perfis atribuídos ao GPRS são (BRA, 1997):

- *Classe de precedência*: indica a importância do pacote com considerações para descarte no caso de problemas e degradação do QoS, quando necessário;
- *Classe de confiabilidade*: especifica o modo de operação de vários detetores de erro e protocolos de recuperação. Possui os parâmetros de probabilidade de perda de dados, de probabilidade de dados entregues fora de seqüência, de probabilidade de entrega de dados repetidos e de probabilidade de dados corrompidos. Isto é, especifica o quanto seguro pode ser a entrega dos dados.
- *Classe de atraso (delay)*: o *delay* de transferência inclui o acesso ao canal de rádio de *uplink* ou a busca do canal de rádio para *downlink*. Especifica o *delay* de transmissão no canal de rádio e o *delay* de trânsito na rede GPRS

- *Classe de vazão de pico (peak throughput)*: define a máxima taxa de transferência permitida;
- *Classe de vazão média (mean throughput)*: define a taxa média de transferência. Os QoSs estão relacionados com os múltiplos perfis de usuários. Diferente do GSM, o gerenciamento das assinaturas do GPRS é específico por serviço; isto é, os usuários podem ativar cada serviço em que são assinantes separadamente. A cobrança é baseada numa assinatura paga regularmente por um período fixo e pelo tráfego em função do volume de dados, tipo de serviço requerido e QoS. Indiferente ao perfil do usuário e do QoS negociado, confiabilidade dos dados em termos de taxas de erro residual para perdas, corrupção ou duplicação é especificada para ser de 10^{-9} para comunicação em grupo e na faixa de 10^{-4} a 10^{-5} para comunicações *multicast*. Isso é garantido por procedimentos de detecção e correção de erros realizados pelos protocolos do GPRS na interface aérea.

Da mesma forma, três classes de estações móveis são definidas: a **classe A** pode operar GPRS e outros serviços GSM simultaneamente; a **classe B** pode monitorar os canais de controle do GPRS e outros serviços simultaneamente, mas só pode operar um conjunto de serviços por vez; e a **classe C** não opera simultaneamente serviços GPRS e não-GPRS.

Para (LIN,1999), as principais limitações do GPRS podem ser definidos como:

- *Limitação da capacidade da célula em relação ao número de usuários*: O GPRS causa um impacto na capacidade das células na rede. Existe uma limitação dos recursos de rádio que devem ser distribuída para diferentes utilidades. Por exemplo, voz e chamadas utilizam o mesmo recurso de rede. A extensão desse impacto vai depender do número de *timeslots* e se existe reserva para uso exclusivo do GPRS. Por outro lado, o GPRS realiza dinamicamente o gerenciamento da alocação de canal e permite uma redução do tempo de pico de sinalização do canal enviando mensagens curtas sob canais GPRS utilizados. O GPRS necessita do SMS como um complemento (note que o SMS utiliza um tipo diferente de recurso de rádio).
- *As taxas de transmissão são menores na realidade*: Teoricamente, a velocidade máxima de transmissão de dados no GPRS pode chegar a 172.2 kbps, mas isso significa um único usuário transmitindo e utilizando os 8 *timeslots* sem nenhuma proteção contra erros. Obviamente, é indesejável que um operador de rede

reserve todos os *timeslots* para serem utilizados por um único usuário. De fato, as velocidades teóricas máximas do GPRS devem ser verificadas contra as reais limitações da rede e dos terminais.

- *Atrasos de trânsito:* Os pacotes GPRS são enviados por diferentes caminhos até se encontrarem no destino final. Isso gera a possibilidade de que um ou alguns pacotes sejam perdidos ou corrompidos durante a transmissão de dados sobre o link de rádio. O padrão GPRS reconhece essa característica inerente das tecnologias de transmissão sem fio de pacotes e incorpora estratégias de integridade dos dados e retransmissão. Assim é esperado que atrasos (*delays*) ocorram.
- *Não possui Store and Forward:* Não há esse tipo de mecanismo incorporado no padrão GPRS, diferentemente do SMS.

CAPÍTULO 03 – ÁREA DE ESTUDO

3.0 – Aspectos Gerais de Belo Horizonte

A cidade de Belo Horizonte é a capital de Minas Gerais, localiza-se na MesoRegião I – Zona Metalúrgica e Campo das Vertentes, possuindo uma área de 335 Km² com uma altitude média de 858 metros, sendo “a primeira cidade planejada do Brasil”. (SMP, 1997)

A região é composta de rochas cristalinas, o que dá ao território paisagens diferenciadas. As serras de Belo Horizonte são ramificações da Cordilheira do Espinhaço e pertencem ao grupo da Serra do Itacolomi. Contornando o município, estão as Serras do Jatobá, José Vieira, Mutuca, Taquaril e Curral. O ponto culminante do município está localizado entre Nova Lima e Brumadinho, atingindo 1583 metros. O clima predominante é o Tropical, basicamente pelo regime sazonal de chuvas; onde no verão caracteriza-se por estação úmida e chuvosa, e no inverno estação seca. A temperatura média anual fica em torno de 20,5°C não havendo bruscas variações na mudança de estações. A cidade é atendida pelos Ribeirões Arrudas e Onça, afluente do Rio das Velhas. O total anual de chuva é relativamente alto, cerca de 1.450 mm por ano.

Outros parâmetros mais relevantes para o presente trabalho como estatísticas populacionais do município e Região Metropolitana, estatísticas sobre o trânsito e transportes, sistema de telecomunicação na cidade, legislações municipais, órgãos e sistemas de trânsito e outros dados a serem citados serão detalhados em tópicos a seguir.

3.1 – Aspectos Demográficos e Regionais Administrativas

O município de Belo Horizonte possui uma população de 2.229.697 habitantes (IBGE, Censo Demográfico – 2000) dividido por 09 regiões administrativas com a finalidade de descentralizar o poder executivo com circunscrição, atribuição, organização e funcionamento definidos por lei (Figura 6). O município ainda é constituído de 03 distritos (Sede, Barreiro e Venda Nova), 101 aglomerados subnormais (favelas) e 02 áreas de proteção ambiental (Parque Serra do Rola Moça e Reserva da Baleia).

Tabela 1 – População e domicílios por regional em Belo Horizonte

Regional	Área (Km ²)	População	Nº Domicílios
BARREIRO	55,14	260.756	79.284
CENTRO-SUL	32,63	265.743	104.385
LESTE	28,89	248.713	81.138
NORDESTE	39,86	273.892	86.404
NOROESTE	38,14	332.673	113.188
NORTE	34,32	193.598	57.828
OESTE	32,10	267.433	90.280
PAMPULHA	46,81	141.620	48.710
VENDA NOVA	27,61	245.269	74.051
TOTAL	335,50	2.229.697	735.268

Fonte: IBGE – Censo Demográfico – 2000



Figura 6 – Mapa das Regionais Administrativas de Belo Horizonte

Um detalhe importante é que Belo Horizonte apresenta queda no índice de crescimento populacional. No período entre 1970/80 o município tinha um crescimento populacional de 44,2%, caindo para 13,4% entre os anos de 1980/90 chegando aos 10,4% na última década. O que não significa que os grandes problemas urbanos existentes na cidade como o trânsito, transporte coletivo, limpeza urbana, sinalização e etc estejam acompanhando o decréscimo no crescimento populacional. Um fator que influencia em grande parte a dinâmica da capital mineira acontece com o crescimento da RMBH, inclusive o trânsito da cidade, devido a grande circulação de veículos e pessoas que usufruem a infra-estrutura oferecida pela cidade nos setores primários, secundários e terciários.

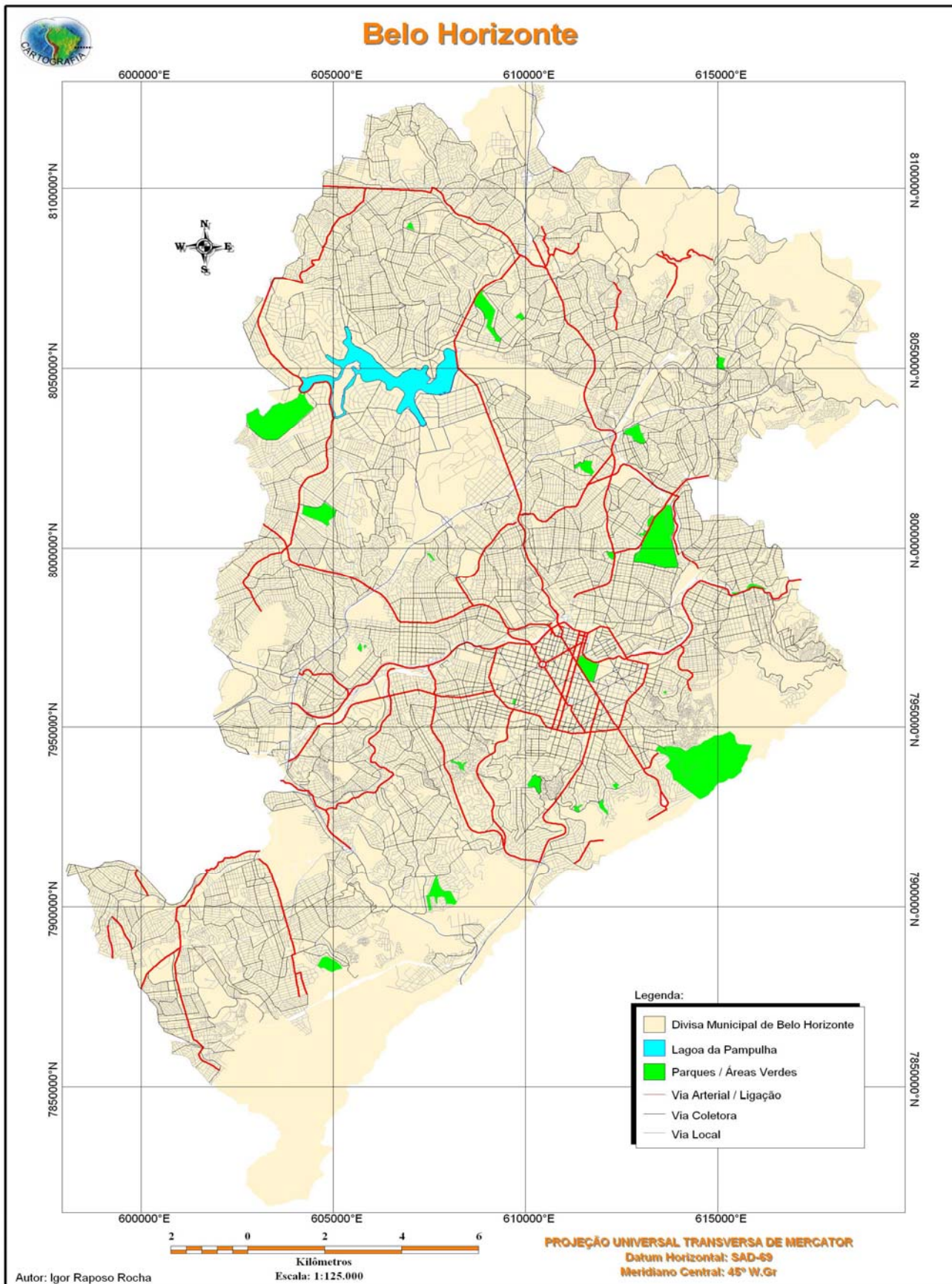


Figura 7: Eixo Viário de Belo Horizonte

3.2 – Região Metropolitana de Belo Horizonte

A região metropolitana de Belo Horizonte foi criada através da Lei Complementar nº 14/73 e regulamentada pela Lei 6303/74, com 14 municípios, sofrendo algumas alterações no decorrer dos anos, sendo que a última delas em 1999, totalizando atualmente 9.435 Km² divididos em 33 municípios (Figura 7) com uma população total de 4.331.180 habitantes, conforme tabela de distribuição abaixo:

Tabela 2 – População dos municípios da RMBH

Município	População	Área (Km ²)	Densidade	Distância BH (km)
Baldim	8.135	514	15,83	95
Belo Horizonte	2.229.697	335	6.655,81	-
Betim	303.588	346	877,42	30
Brumadinho	26.607	634	41,97	51
Caeté	36.278	528	68,71	49
Capim Branco	7.879	102	77,25	56
Confins	4.797	41	117	40
Contagem	536.408	194	2.764,99	21
Esmeraldas	45.784	943	48,55	70
Florestal	5.636	156	36,13	70
Ibirité	132.843	145	916,16	21
Igarapé	24.269	192	126,40	33
Itaguara	11.297	410	27,55	87
Jaboticatubas	13.523	1.124	12,03	63
Juatuba	15.755	102	154,46	35
Lagoa Santa	37.756	280	134,84	36
Mário Campos	10.525	37	284,46	35
Mateus Leme	24.124	323	74,69	56
Matozinhos	30.082	259	116,15	51
Nova Lima	64.295	410	156,82	22
Nova União	5.428	201	27,01	65
Pedro Leopoldo	53.825	305	176,48	40
Raposos	14.268	77	185,30	33
Ribeirão das Neves	246.589	157	1.570,63	23
Rio Acima	7.651	230	33,27	44
Rio Manso	4.644	263	17,66	62
Sabará	114.557	302	379,33	19
Santa Luzia	184.721	236	782,72	27
São Joaquim de Bicas	18.156	81	224,15	30
São José da Lapa	15.009	48	312,69	25
Sarzedo	17.240	62	278,06	39
Taquaraçu de Minas	3.486	329	10,60	40
Vespasiano	76.328	69	1.106,20	22
Total	4.331.180	9.435	539,74 (média)	

Segundo dados do IBGE, de 1996/2000, a RMBH apresentou uma taxa de crescimento médio anual na casa de 1,25%, no mesmo período o município de Belo Horizonte cresceu 1,61% enquanto o estado de Minas Gerais cresceu 1,70%.

3.3 – Órgão de gerenciamento do trânsito de Belo Horizonte

Desde 1992, foi criada a Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S/A, conhecida por BHTRANS. Esta é um órgão da administração indireta da prefeitura do município responsável pelo gerenciamento do transporte e do trânsito da capital mineira, conforme instituído na Lei 9503/97.

Dentre suas inúmeras atribuições é relevante destacar o planejamento e a implantação de ações operacionais no tráfego e no sistema viário do município; o gerenciamento e fiscalização dos táxis, dos serviços de transporte coletivo e escolar, e mais recentemente do transporte suplementar (perueiros que foram legalizados).

Com a implantação do Código Brasileiro de Trânsito, em 1998, a empresa passou a executar as atividades de fiscalização e operação do trânsito, e juntamente com a Polícia Militar compartilhando ações para disciplinar e reduzir conflitos neste.

Buscando uma melhor integração com a prefeitura e conseqüentemente com a população, a BHTRANS foi totalmente reestruturada em fevereiro de 2001, buscando maior agilidade às operações de trânsito e transporte.

“A operação de trânsito é entendida como a grande intervenção no próprio trânsito com o objetivo de manter, restabelecer prontamente ou até mesmo melhorar as condições de escoamento do trânsito de veículos e a segurança das pessoas” (BHTRANS, 2002). Entre as operações de rotina promovidas pela BHTRANS, pode-se destacar:

- Rotas de monitoramento de trânsito
- Postos de Observação do Trânsito
- Monitoramento aéreo
- Presença nos pontos críticos do sistema viário
- Radares móveis nos principais corredores de trânsito
- Avaliação, autorização e fiscalização de desvios de trânsito para obras e eventos
- Emissão de autorizações especiais para trânsito e estacionamento
- Remoção de veículos infratores para o pátio de recolhimento
- Remoção de veículos pesados para desobstrução das vias
- Fiscalização do estacionamento rotativo.

Outro tipo de intervenção bastante importante é no que se refere à sinalização das vias. No ano 2001, a BHTRANS implantou 3.430 projetos operacionais de sinalização na cidade, preferencialmente visando à segurança no trânsito. Isso significa que foram sinalizados 198 Km de vias, totalizando 15.350 unidades de novas placas e 77.325m² de demarcação viária, o que corresponde a um investimento de R\$ 2.628.623,74 (Figura 9).



Fig. 8 – Sinalização nas vias de BH

A BHTRANS também gerencia e fiscaliza o estacionamento rotativo da capital, que trazendo benefícios diretos, como: aumento da oferta de vagas nas regiões de grande concentração de comércio, serviços e lazer, oferecendo aos motoristas a oportunidade de estacionamento, contribui para melhorar a qualidade de vida, com o aumento da fluidez do trânsito e, além disto, aumenta a arrecadação tributária do município, conforme detalhamento na tabela abaixo:

Tabela 3 – Dados do sistema rotativo de Belo Horizonte

Quarteirões regulamentados	441
Vagas físicas	12.266
Vagas rotativas	64.534
Rotatividade Média (veículo/vaga)	3,4
Taxa de ocupação média	54,3%
Talões vendidos	47.576
Receita Bruta	R\$ 711.840,00
Receita Líquida	R\$ 617.893,00

Fonte: GEEST – Setembro/2000

Entre os principais sistemas de apoio tecnológicos utilizados pela BHTRANS atualmente destaca-se o sistema centralizado de semáforos e sistema de controle inteligente de tráfego – CIT.

3.4 – Trânsito em Belo Horizonte

Dentre os inúmeros problemas que assolam a cidade de Belo Horizonte, o trânsito merece atenção especial devido suas complexidades e estatísticas. São congestionamentos e acidentes diários que a cada dia estão mais presentes na vida da população belorizontina.

Segundo o DETRAN/MG, no ano de 2000 o município de Belo Horizonte tinha uma frota de 502.154 automóveis, 23.358 caminhões, 71.289 caminhonetes, 46.990 motos, 5.745 ônibus, e mais 19. 126 de outros tipos de veículos.

A cidade de Belo Horizonte possui cerca de quatro mil e trezentos quilômetros de vias, e mais de trinta mil entroncamentos ou cruzamentos, sendo que mais de 1000 interseções são semaforizadas (BHTRANS, 2006).

O quadro abaixo representa à média de congestionamentos na capital mineira no ano de 2002:

Tabela 4 – Média de congestionamentos em 2002

Período	Retenção Verificada (Km)
Janeiro	145,4
Fevereiro	177,9
Março	240,7
Abril	171,3
Maiο	135,6
Junho	162,1

Fonte: BHTRANS, 2002

Em uma pesquisa de demanda turística realizada pelo BELOTUR, em 1999, o trânsito de Belo Horizonte foi considerado por 31,34% dos turistas como o aspecto mais negativo da cidade, enquanto que a segurança, o segundo aspecto negativo mais voltado obteve 19,86% dos votos. Para se ter uma idéia da gravidade dos resultados, na mesma pesquisa o trânsito de BH foi apresentado como aspecto positivo por somente 2,06% dos turistas.

CAPÍTULO 04 – METODOLOGIA

4.0 – Sistema de Monitoramento de Trânsito

Conforme relato anteriormente, o trânsito de uma grande cidade é um elemento dinâmico, com variações bruscas em um curto período de tempo, fazendo com que a aquisição dos dados sobre ele, para comparação e análise, seja cada vez mais fundamental na busca de soluções rápidas e precisas. Esse fato, por si só, já justifica a criação de um Sistema de Monitoramento de Trânsito, buscando sempre inovações tecnológicas mais eficientes e baratas.

Em síntese, podemos denominar o Sistema de Monitoramento de Trânsito como uma solução tecnológica para planejamento urbano, onde, através da aquisição de dados em tempo real e sobre diversos pontos simultâneos da cidade, tenham-se condições de integrar automaticamente soluções e planejamentos eficientes, com o objetivo de conseguir uma melhor distribuição do fluxo de veículos pelas vias da cidade, minimizando assim problemas como congestionamentos.

Basicamente, o um eficiente Sistema de Monitoramento de Trânsito deverá detectar o fluxo de trânsito nos locais onde estão instalados os módulos e sensores, transmitindo-os para um servidor central (de acordo com o tempo de programação) utilizando o protocolo de comunicação GPRS. Neste servidor, estará instalado um aplicativo em ambiente SIG/GIS integrado a sistema de gerenciamento de banco de dados geográfico ou relacional (SGBDG) que provido de dados sobre o fluxo de trânsito detectados em tempo real nas vias, poderá desempenhar inúmeras funções, tais como: geração de rotas alternativas visando melhor distribuição do tráfego de veículos, gráficos comparativos, relatórios estatísticas para fins de planejamentos (por exemplo, na mudança de direção e sinalização de cruzamentos) etc.

Um fator importante a ser destacado está na facilidade de integração com outros sistemas já existentes no controle de tráfego como, por exemplo, o controle centralizado de semáforos, onde relatórios e gráficos podem indicar uma otimização nos tempos de verde e vermelho dos sinais luminosos, ou até mesmo pela simples divulgação e conseqüentemente acessos das informações detectadas simultaneamente em diversos pontos da cidade, que podem sere acessadas por qualquer aparelho eletrônico de comunicação móvel (Celular, PocketPc e Palmtop) e pela internet (Figura 11).

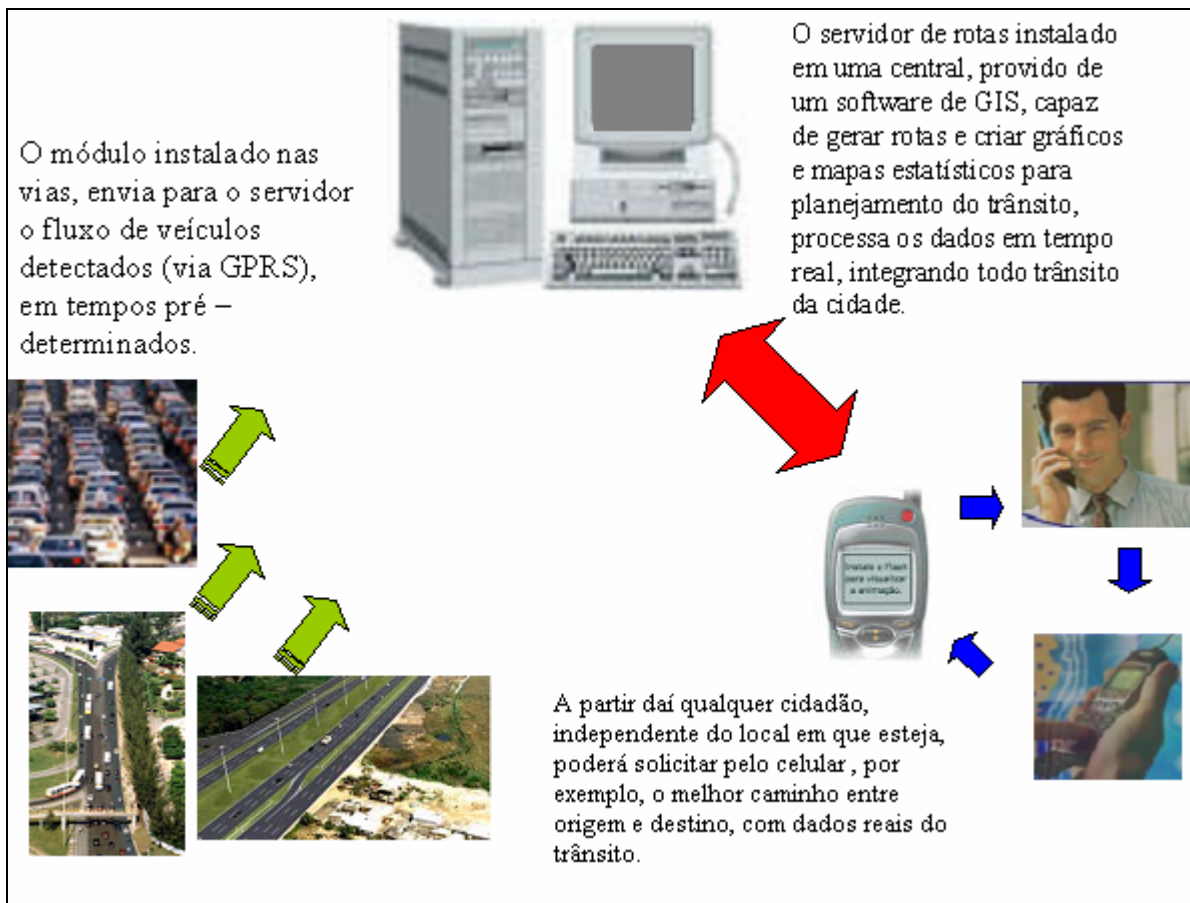


Figura 9 – Funcionalidades: Rede de Monitoramento Urbano

4.1 – Módulo de transmissão e afins

Para que um aplicativo ou software GIS/SIG possa receber os dados de tráfego das vias para atualização do banco de dados em tempo real são necessários alguns componentes fundamentais para o funcionamento do Sistema de Monitoramento, tais como: laços indutivos magnetizados na pista das vias, placa eletrônica para leitura e armazenamento dos dados e o módulo para transmissão dos dados.

O módulo de transmissão tem importância fundamental no funcionamento de toda rede. Isso ocorre, pois é o módulo que faz a integração dos componentes de detecção de veículos com a base de dados, influenciando diretamente o preço de operacionalização da rede.

Entre as tecnologias pesquisadas, o módulo de transmissão que apresenta melhor custo benefício para integração com o sistema possui características importantes que devem ser destacadas, tais como: tamanho reduzido, memória de 128 Kbytes, 04 entradas digitais para sensores, 04 saídas digitais pra atuadores, relógio interno, backup dos dados na memória flash, consumo máximo de 110mA e principalmente transmissão

dos dados, utilizando protocolo GPRS, o que torna o funcionamento da rede realmente econômica (Figura 12).



Fig. 10 – Módulo de transmissão via GPRS

4.2 - Estrutura da base cartográfica

No presente trabalho, que trata da criação de um Sistema de Monitoramento de Trânsito, a base cartográfica trabalhada detém algumas particularidades que serão descritas posteriormente.

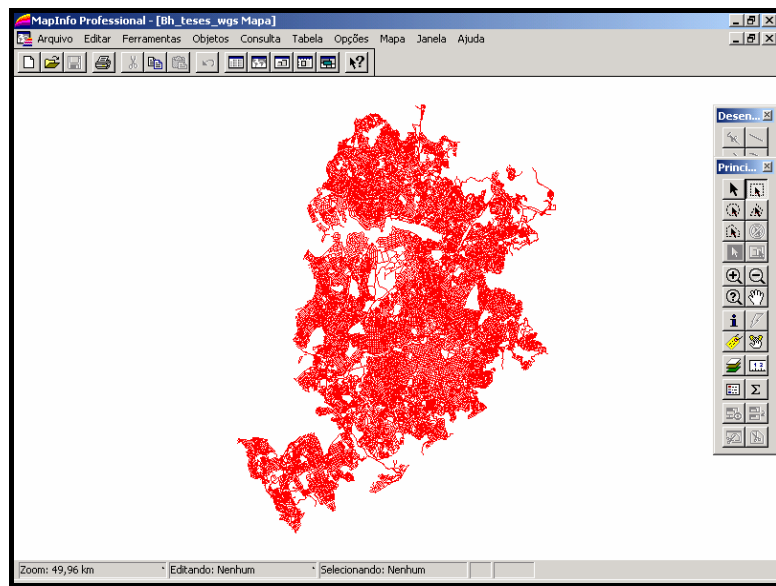


Fig. 11 – Base digital com os eixos de ruas de BH

Para as devidas funções do sistema, devem-se analisar dois pontos fundamentais: primeiro estrutura topológica (objetos gráficos) e o segunda é a estrutura alfanumérica (tabela de dados).

Nesse caso, os objetos gráficos que representam os eixos de rua deverão ser linhas ou polinhas com suas extremidades interligadas com as demais. Caso as linhas ou polinhas não estejam interligadas fica impossível, por exemplo, gerar rotas com essa base cartográfica (Fig.13).

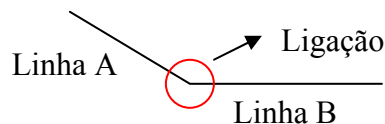


Fig. 12 – Duas linhas distintas interligadas



Fig. 13 – Foto Área com base cartográfica digital sobreposta. Onde as linhas verdes com a seta azul ao centro representam a direção do fluxo de veículos da via (mão de direção) e os pontos vermelhos indicam a ligação entre as extremidades das linhas.

A busca de dados associados a objetos de tabelas diferentes dificulta a atualização dos dados mensurados em tempo real nas vias. Portanto, o primeiro passo é estruturar corretamente sua base cartográfica digital, buscando uma adequada topologia gráfica agregada a uma eficiente e completa estrutura dos campos alfanuméricos, objetivando e prevendo as funcionalidades, resultados e usos futuros.

Diante ao exposto, a base cartográfica do município em questão, no caso Belo Horizonte, deverá conter os seguintes campos agregados aos objetos do mapa (Fig. 15):

Tabela 5 – Especificações sobre a estrutura dos campos de dados alfanuméricos

Nome do campo	Tipo	Finalidade
LOGRADOURO	Caracter	Indica o nome do logradouro ou via.
NULOG	Caracter	Código do logradouro
NUMSEG	Inteiro	Código de cada trecho (linha) que forma um logradouro
BAIRRO	Caracter	Indica o nome do bairro em que o trecho está contido
COD_BAIRRO	Caracter	Código do bairro em que o trecho está contido
TAM_TRE	Inteiro	Indica a extensão do trecho em metros
FROMLEFT	Inteiro	Início da numeração no lado esquerdo do trecho
TOLEFT	Inteiro	Final da numeração no lado esquerdo do trecho
FROMRIGHT	Inteiro	Início da numeração no lado direito do trecho
TORIGHT	Inteiro	Final da numeração no lado direito do trecho

LADO	Caracter	Indica o lado da rua em relação ao seu início e final (direito ou esquerdo)
HIERARQUIA_TRE	Caracter	Indica a hierarquização do trecho de acordo com classificação p/ uso da via
CAP_MAX_TRE	Inteiro	Indica o número máximo de veículos por hora no trecho
CAP_MED_TRE	Inteiro	Campo de atualização do fluxo de veículos medidos
VEL_TRE	Inteiro	Indica o tempo de viagem no trecho
VEL_MED_TRE	Inteiro	Campo de atualização da velocidade média de veículos medidos
CEP	Inteiro	Indica o Cep do trecho

4.3 – Simulações do Sistema de Monitoramento de Trânsito

No presente tópico é apresentado simulações do monitoramento de trânsito em funcionamento para melhor entendimento desta.

Devido à ausência de dados sobre o tráfego coletados diretamente nas vias de Belo Horizonte, optou-se por realizar simulações com os dados de fluxo fictícios, atribuídos pelo conhecimento de campo de trechos viários problemáticos, onde em determinados horários apresentam maiores probabilidades de congestionamento e tendência para tal.

Assim, após estruturar toda base cartográfica de eixo viário de Belo Horizonte conforme descrição no capítulo anterior, a mesma foi compilada para um software proprietário, em ambiente GIS, capaz de gerar rotas utilizando o algoritmo de Dijkstra, através de alguns critérios definidos (caminho comum, mais curto e mais rápido), a fim de simular resultados sobre uma possível distribuição do fluxo de veículos em vias menos saturadas.

Para justificativa sobre os resultados obtidos nas simulações, foi utilizado o critério de caminho mais rápido, onde são definidos os pesos para escolha da rota de acordo com a capacidade de fluxo máximo da mesma, velocidade associada a essa capacidade e o volume do fluxo de veículos mensurados em um determinado momento (nesse caso inserido manualmente), através do “*método de atribuição por restrição de capacidade*”(BRUTON,1975), onde a verificação entre o tempo da viagem e o volume de cada trecho da via pode ser expressa pela seguinte equação:

$$T = T_0 \left[1 + 0,15 \left(\frac{\text{volume atribuído}}{\text{capacidade prática}} \right)^4 \right]$$

Onde:

T = tempo de viagem no qual o volume atribuído pode viajar em determinado trecho

T₀ = tempo de viagem considerando o volume do trecho igual a zero, ou seja, T₀ é igual ao tempo de viagem na capacidade prática multiplicado por 0,87.

4.4 Simulações na cidade de Belo Horizonte

A primeira simulação realizada trata-se de uma rota que tem como ponto de origem a Rua Bernardo Guimarães – n° 735 (Savassi) como destino a Rua Itutinga – n° 84 (Coração Eucarístico), sendo considerado o horário da saída do ponto de partida às 18:15hs. Nessa simulação optou-se por realizar uma rota comum entre os motoristas da cidade, buscando sempre passar por vias arteriais e coletoras importantes e conhecidas em Belo Horizonte, diariamente congestionadas em alguns trechos nos horários de pico (figura 20).

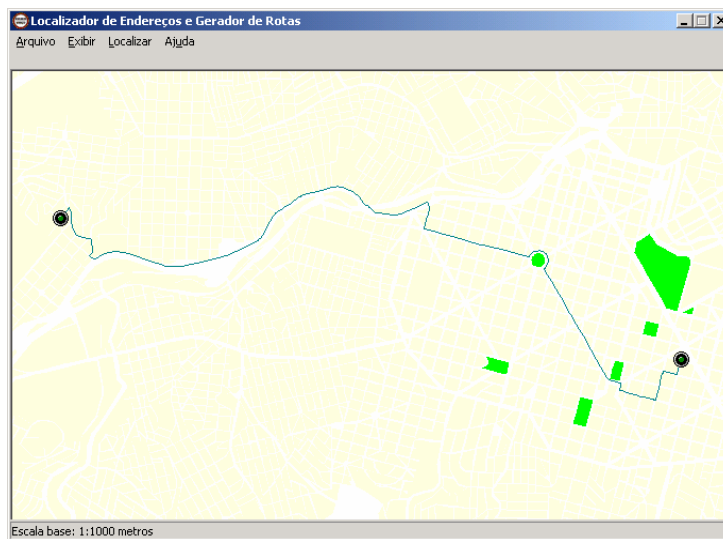


Fig. 14 – Rota mais comum entre a Rua Bernardo Guimarães e Rua Itutinga

O início da rota partiu da Rua Bernardo Guimarães – n° 735, em direção à praça da Liberdade onde prosseguiu pela Avenida Bias Fortes, contornou a praça Raul Soares, entrou em seguida na Avenida Augusto de Lima onde percorreu 1 Km até vira à direita na Rua Uberaba sentido Avenida Teresa Cristina. A partir daí continuou pela Avenida Teresa Cristina (Via Expressa) até chegar à entrada do bairro onde teria acesso ao seu destino. No total o motorista gastou 45 minutos para percorrer 7794 metros de distância, tendo um gasto de combustível estimado em 1,12 litros (cálculo estimado para um veículo de passeio com consumo de 8 Km/l).

Analisando os dados de fluxo do trânsito em determinados trechos (Figura 21), outras rotas seriam possíveis as que beneficiariam diretamente o motorista em questão, e conseqüentemente haveria uma melhor distribuição do trânsito no geral, pois motoristas evitariam passar por trechos já saturados ou como tendências a saturamento.

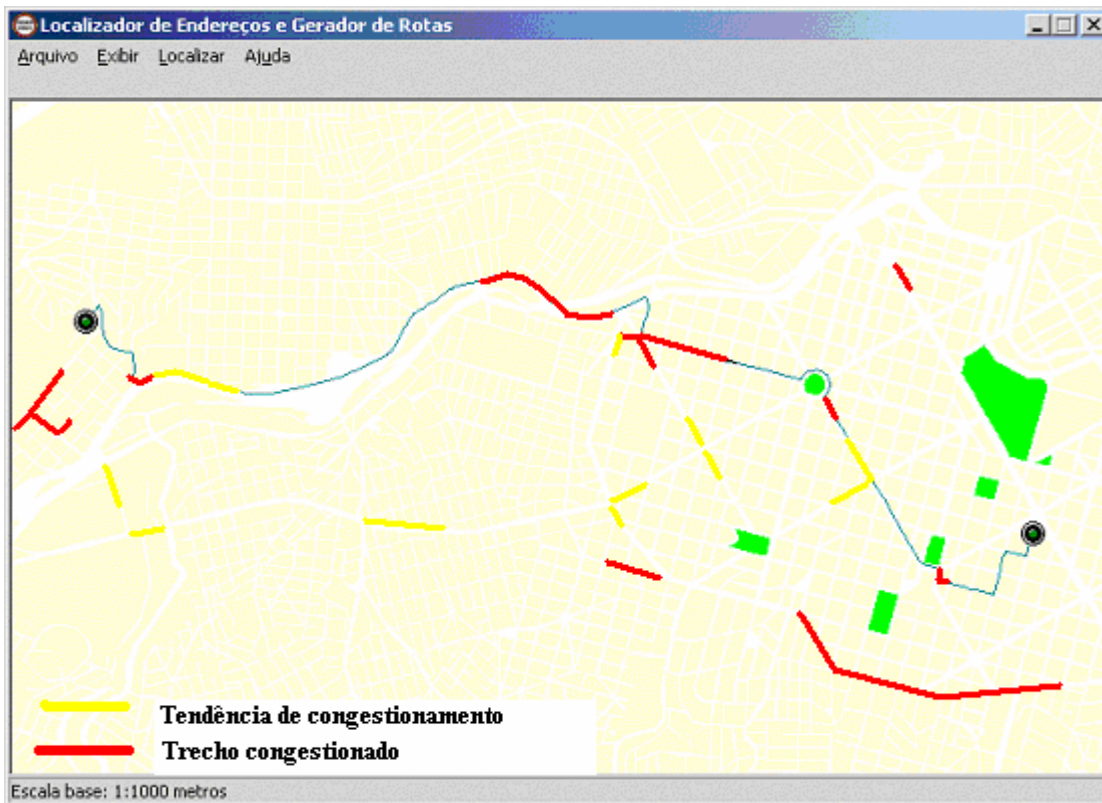


Fig. 15 – Mapa temático com trechos congestionados ou com tendência a congestionamento

Portanto ao analisar o mapa temático dos fluxos de trânsito na região de descrição da rota, poder-se-ia imediatamente realizar outras rotas menos saturadas (Figura 22).

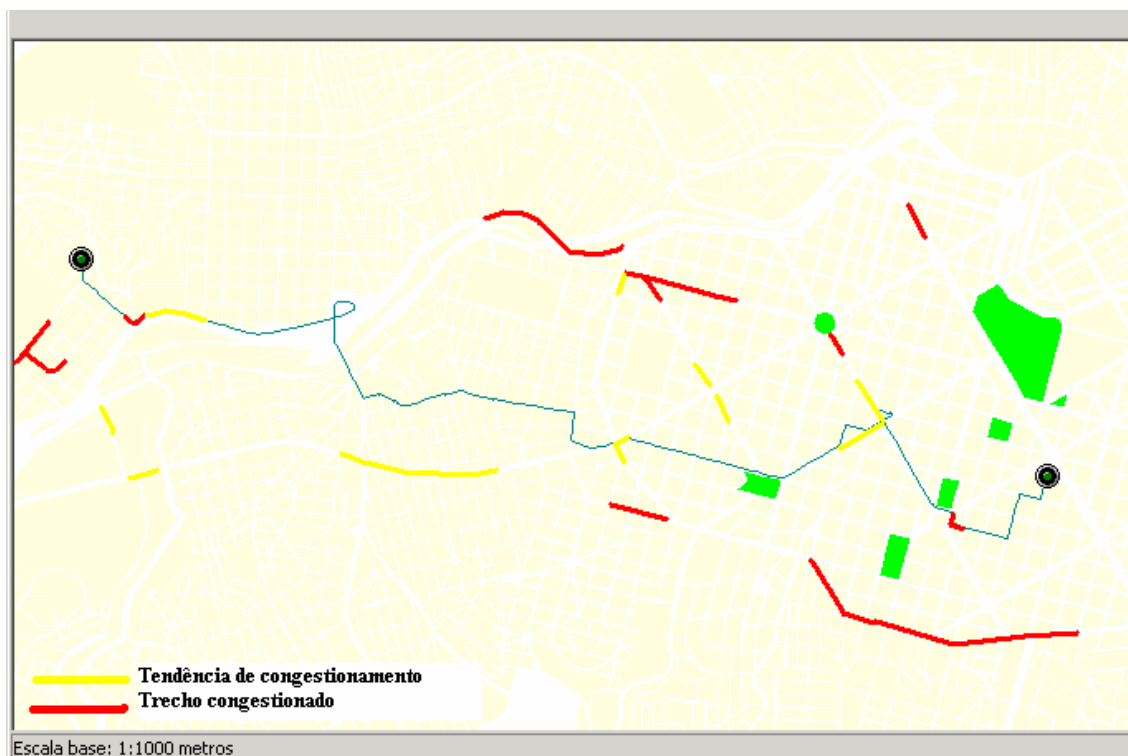


Fig. 16 – Rota otimizada entre a Rua Bernardo Guimarães e Rua Itutinga

Ao optar pelo itinerário da rota otimizada pelo software, seria gastos 35 minutos para percorrer uma extensão de 7500 metros, consumindo cerca de 1,17 litros de combustível (cálculo estimado para um veículo de passeio com consumo de 8 Km/l).

A segunda simulação foi realizado uma rota (Figura 23) onde o ponto inicial de partida foi na Avenida Amazonas – nº 5416 às 18:30 hs, com destino para Rua Napoleão Laureano - nº 100 no bairro Floresta. Sendo assim a rota realizada diariamente pelo motorista tem seu itinerário basicamente feito por vias arteriais e coletoras conhecidas, onde esse segue a Avenida Amazonas por 4 Km, entra a esquerda na Rua Espírito Santo, continua no viaduto leste, saindo na Avenida Cristiano Machado onde percorre cerca de 800 metros até virar a direita na Ave Silviano Brandão indo até a esquina da rua Napoleão Laureano. Para percorrer o itinerário de 6800 metros o motorista gasta em média 35 minutos, e consome cerca de 0,83 litros de combustível (cálculo estimado para um veículo de passeio com consumo de 10 Km/l).

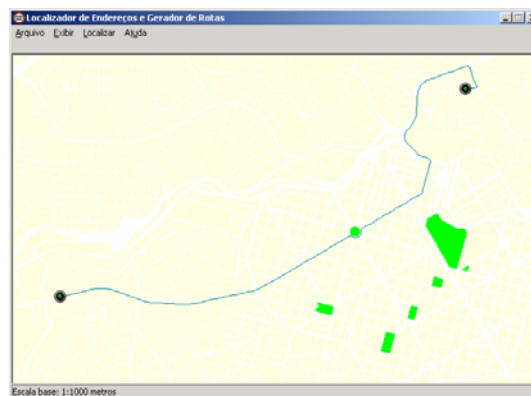


Fig.17 – Rota mais comum entre a Avenida Amazonas e a Rua Napoleão Laureano

Ao verificar as condições sobre o fluxo de trânsito através do mapa temático percebe-se a existência muitos trechos saturados, o que o faz perder bastante tempo e ainda colabora com o agravamento dos congestionamentos (Figura 24).

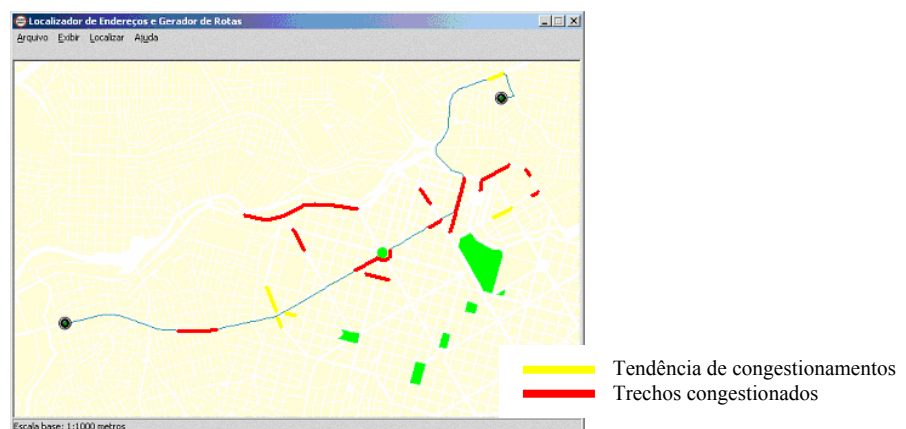


Fig. 18 - Mapa temático com trechos congestionados ou com tendência a congestionamento

Contudo, se esse motorista tiver informações reais sobre a situação do trânsito poderá solicitar via celular, por exemplo, uma rota onde evite esses trechos e outros trechos congestionados, fazendo com que o motorista possa chegar a seu destino de maneira mais prática e viável (Figura 25).

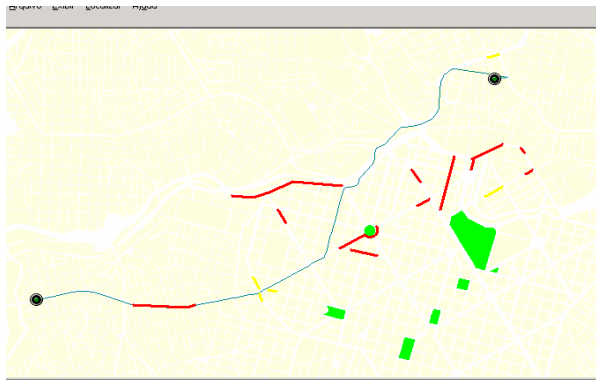


Fig. 19 – Rota otimizada entre a Avenida Amazonas e Rua Napoleão Laureano

Ao realizar a rota evitando os trechos congestionados o motorista gastou 28 minutos para percorrer 6000 metros, consumindo 0,82 litros de combustível (cálculo estimado para um veículo de passeio com consumo de 10 Km/l).

A terceira simulação realizada seguiu os mesmos parâmetros das simulações anteriores, sendo que apenas essa foi realizada na prática, comparando os resultados obtidos pelas rotas propostas pelo aplicativo utilizado.

Assim, foi realizado uma simulação de rota onde o ponto inicial de partida foi na Rua Doutor Plínio de Moraes – nº 565 às 09:00 hs, com destino para Rua Jacuí - nº 55 no bairro Floresta.

A rota mais comum utilizada nesse caso e proposta pelo o aplicativo utilizado, seria seguir pela Avenida Gustavo da Silveira, continuar pela Avenida Cristiano Machado e converter para Rua Jacuí até o local desejado, percorrendo um total de 3500 metros em 17 minutos.

Devido a condição do trânsito nos logradouros acima citados, optou-se por fazer uma rota mais rápida, passando preferencialmente por vias arteriais e coletoras cujo fluxo de trânsito apresenta-se condições mais favoráveis. Sendo assim, foi gerada uma rota passando pela Avenida Gustavo da Silveira, retornando para acesso a Rua São Lázaro, seguindo pelas ruas Itajubá, Salinas, Pomblagina, Pouso Alegre, Célio de Castro e Jacuí até o ponto final, evitando passar por trechos congestionados e/ou com tendência a congestionamentos, percorrendo um total de 4100 metros em exatos 09 minutos (Figura 26).

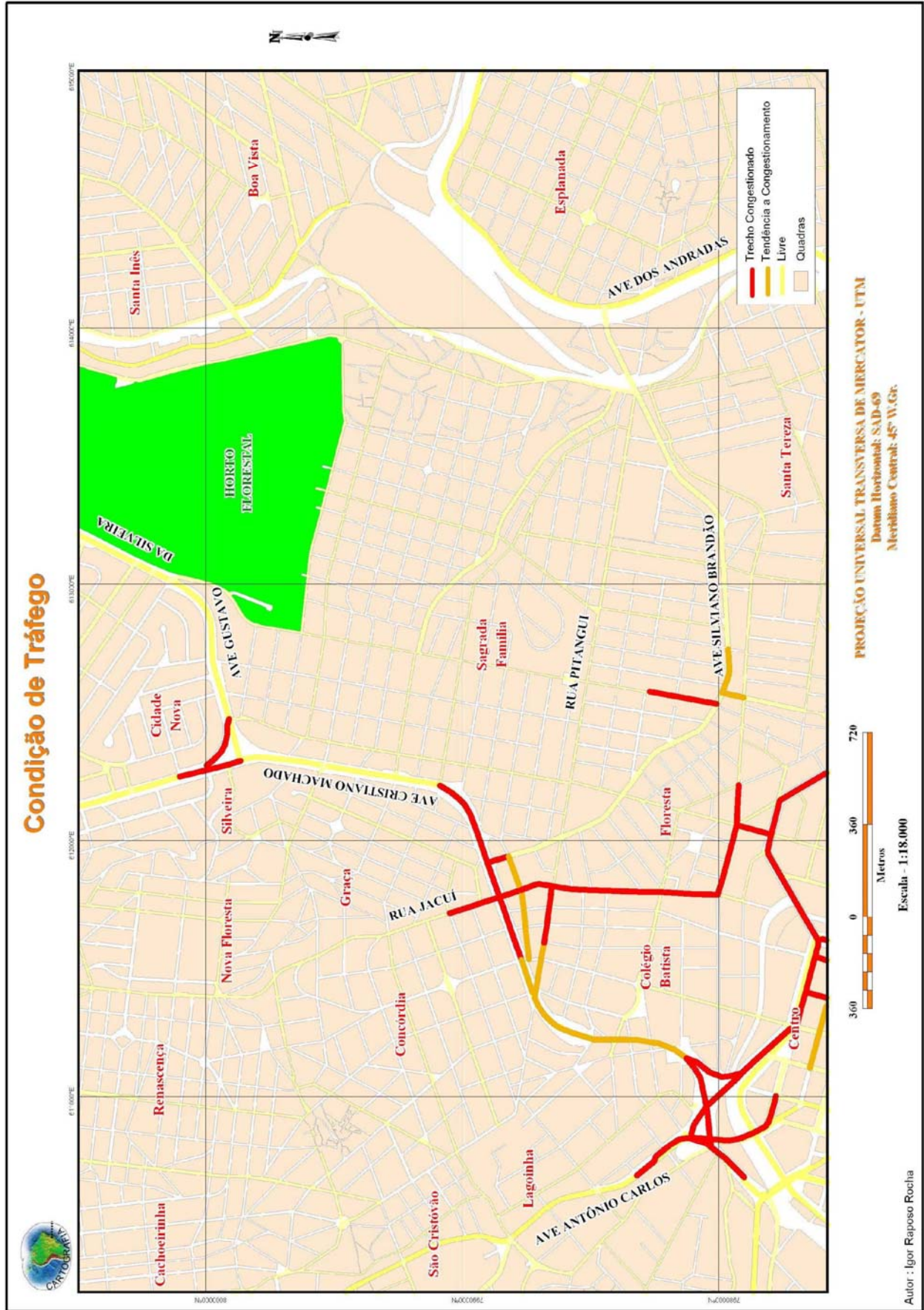


Figura 20: Condição de Tráfego no sistema viário da terceira simulação de rota realizada.



Rua Itajubá



Rua Itajubá c/ Av. Silvano Brandão



Rua Salinas c/ Jacuí



Rua Pouso Alegre

Figura 21: Fotos dos principais logradouros do itinerário da rota mais rápida (evitando trechos congestionados e/ou com tendência a congestionamentos)



Rua Pouso Alegre c/ Jacuí



Rua Jacuí c/ Ave. Cristiano Machado



Ave. Cristiano Machado c/ Silvano Brandão



Ave. Cristiano Machado

Figura 22: Fotos dos principais logradouros do itinerário de rota mais comum

Enfim, o quarto exemplo a ser destacado mostra uma situação em que a aquisição de dados em tempo real através da Rede de Monitoramento de Trânsito torna-

se de extrema utilidade e eficiência para um bom planejamento para o trânsito. Ao analisar relatórios, gráficos e mapas temáticos percebe-se que diariamente em uma determinada área de um bairro a partir das 22 horas nos dias úteis, algumas vias do local apresentam congestionamentos o que acaba atrapalhando o fluxo de grande parte da região (Figura 27).

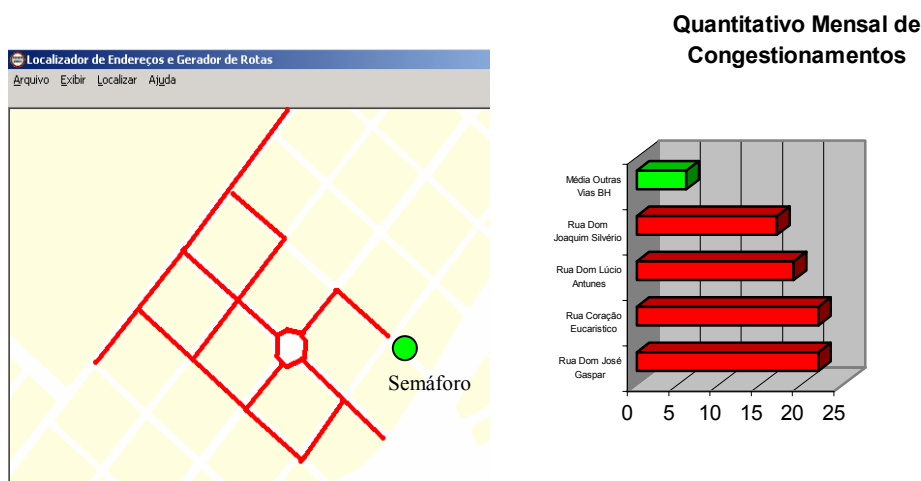


Fig.23 – Mapa e gráfico indicando trechos constantemente congestionados

Assim uma equipe de especialistas poderá ir ao local indicado pelos relatórios, gráficos e mapas no intuito de avaliar o problema buscando uma solução ou minimização para os congestionamentos da área. Ao analisar o problema descobre-se, por exemplo, em que o por haver uma universidade de grande porte no bairro, o semáforo existente no local apresenta pouco tempo em sinal verde no horário indicado, onde em contrapartida há um grande volume de veículos que cruzam esse semáforo. O outro problema detectado, por exemplo, acontece devido ao grande número de conversões de um logradouro para outro, devendo, portanto alterar a sinalização do local, havendo ainda a possibilidade de enviar um agente de trânsito para controlar o trânsito no local nos horários de saturamento.

4.5 – Análise Custo X Benefício

Um dos grandes desafios atualmente dentro do planejamento urbano não se limita apenas em procurar a solução para problemas nas grandes cidades, e sim encontrar soluções práticas e eficientes, mas ao mesmo tempo econômicas.

Para que isso ocorra na prática, os profissionais envolvidos sejam eles de qualquer atuação científica deverão adequar as novas tecnologias buscando uma integração com outras áreas de atuação além da sua.

Para uma clara análise do custo do Sistema de monitoramento de Trânsito devemos dividir esta em três fases: Fase de implantação, fase de operacionalização e a fase de manutenção.

A primeira fase, a de implantação, deve-se analisar o custo dos equipamentos necessários para captação, armazenamento e transmissão dos dados sobre o fluxo de veículos. Para tal, são necessários os seguintes componentes instalados: laços indutivos magnetizados na pista da via, placa eletrônica para leitura e armazenamento dos dados sobre quantidade de veículos detectados por unidade de tempo, módulo de transmissão via GPRS e servidor de dados. A grande dificuldade desta fase é justamente calcular o valor de custo, pois os elementos descritos nela são baseados em sua maioria no valor cambial do dólar (cotação do dólar na presente data é de R\$ 2,20), além da quantidade negociada que também altera o valor unitário dos equipamentos. Em uma estimativa generalizada, onde foi tomado como base entrevista com profissionais do ramo, estima-se um custo inicial em torno de R\$ 1.500,00 (mil e quinhentos reais) por unidade instalada, além é claro da mão de obra para instalação dos mesmos.

A segunda fase para do Sistema de monitoramento de Trânsito é a de operacionalização, onde deverá ser avaliado o custo para manter o sistema. Pelo sistema de transmissão proposto, o GPRS, o custo de operação do Sistema de Monitoramento de Trânsito torna-se extremamente viável, econômico e confiável. Para ter uma idéia, a empresa OI de telefonia celular, cobra hoje um valor médio de R\$ 3,00 (três reais) por Megabyte transmitido via GPRS.

O que diz respeito à manutenção dos componentes eletrônicos do Sistema de Monitoramento de Trânsito torna-se impossível fazer qualquer previsão de valores, pois isso deve ocorrer apenas em situações esporádicas, onde houver, por exemplo, troca de equipamentos por defeito. Uma possibilidade de manutenção do Sistema de Monitoramento de Trânsito que deve ser destacada ocorre pelo simples fato da possibilidade de uso de telemetria para acompanhamento do funcionamento dos equipamentos instalado nas vias (placa eletrônica para leitura/armazenamento e módulo de transmissão), evitando assim custos extras como manutenção preventiva, onde seria necessária a disponibilização de mão-de-obra em campo para suporte.

“Com o sistema de telemetria é possível detectar falhas em equipamentos que compõem a estrutura de uma empresa e agir de forma rápida a fim de evitar maiores transtornos”. (EM, 2002)

Um outro parâmetro que serve de complementação ocorre quando se analisa o custo e a facilidade que a população em geral, em especial os motoristas, têm relação ao acesso às informações reais de trânsito em qualquer local e momento utilizando, por exemplo, o serviço de SMS do seu aparelho celular, serviço esse cobrado em média pelas operadoras por um preço de R\$ 0,25.

Se a prefeitura de uma cidade resolve implantar um Sistema de Monitoramento de Trânsito em suas vias, monitorando simultaneamente 1000 trechos de vias, onde serão transmitidos os dados sobre o fluxo de veículos de 5 em 5 minutos nos horários de pico, e de 15 em 15 minutos nos demais horários, totalizando 160 transmissões por módulo/dia e levando em consideração os valores estimados acima, poderia calcular o seguinte investimento:

Implantação

Instalação de 1000 equipamentos nas vias	R\$ 1.500.000,00
Servidor de dados	R\$ 20.000,00

Operacionalização

Nº de transmissões diárias por equipamento	160
Tamanho do dado enviado por transmissão	10 bytes
Total geral de Megabytes enviados por dia	1,6 MB
Valor estimado por transmissão de dados no mês	R\$ 465,00

Diante os valores expostos e as vantagens já apresentadas durante o presente trabalho, ficam de fácil percepção as inúmeras vantagens oferecidas pela criação de um Sistema de Monitoramento de Trânsito a um custo bastante acessível para uma prefeitura de uma grande cidade, além de trazer benefícios diretos para toda população local.

CAPÍTULO 05 – CONCLUSÃO

5.0 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo conteúdo exposto, percebe-se a grande dificuldade das aplicações em GIS, em trabalhar com dados dinâmicos. Em grande parte, essa dificuldade é agravada pelo fato de não haver um adequado “diálogo” entre as várias ciências e tecnologias produtoras e consumidoras de geotecnologias, devido as grandes particularidades no processo de construção de uma aplicação em GIS para trabalhar com os dados dinâmicos e estáticos. Modelos recentes de dinâmicas urbanas têm abordado temas os mais diversificados.

“Tradicionalmente, o corrente estágio tecnológico de Geoprocessamento ainda enfatiza a representação de fenômenos espaciais no computador de forma estática. Isto se deve ao fato de que a principal abstração utilizada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é o mapa. No entanto, um significativo conjunto de fenômenos espaciais, tais como escoamento de água da chuva, dispersão de sementes e mudanças de uso do solo urbano, entre outros, são inerentemente dinâmicos, e as representações estáticas utilizadas em SIG não os capturam de forma adequada. Deste modo, um dos grandes desafios da Ciência da Geoinformação é o desenvolvimento de técnicas e abstrações que sejam capazes de representar adequadamente fenômenos dinâmicos”. (Câmara et al., 2002)

Doravante, ao tentar entender o funcionamento de Sistema de Monitoramento de Trânsito e detalhar os parâmetros interligados para um eficiente funcionamento desta, o planejador urbano ou de trânsito passa a participar de todas as etapas para que futuramente esse esteja integrado e capacitado a trazer inovações visando um melhor resultado a um custo acessível. Como um planejador pode propor alguma solução para uma cidade, como por exemplo, um Sistema de Monitoramento de Trânsito, se esse não conhece a relação entre telecomunicação móvel e geoprocessamento? Como esse planejador poderá escolher a solução mais eficaz e econômica, caso não tenha conhecimento de como serão captados, transmitidos e processados ou até mesmo georreferenciado os dados?

A prefeitura de Washington nos Estados Unidos, por exemplo, buscou trazer soluções para o trânsito da capital norte americana, utilizando-se dos recursos oferecidos pelo GPS, limitando-se apenas em buscar os dados estáticos, não se preocupando como o dinamismo do trânsito.

“Os carros circularam pelas principais rotas de tráfego entre as 13 e 20 horas nos dias de semana. Os motoristas iniciaram seus percursos no mesmo ponto de partida com alguns minutos de diferença, e as unidades GPS registraram sua localização (e conseqüentemente sua velocidade, calculada a partir da mudança da localização após certo tempo) a cada dois segundos. Ao chegar no fim de sua rota, os motoristas iniciavam o trajeto de volta, pelo mesmo percurso. A cada dia, se concentravam em uma rota, que faziam pelo menos quatro vezes nos dois sentidos. A cada vez que a velocidade deles caía ao longo da rota, o ponto exato era registrado em um computador laptop no carro. Usando tais dados, cada seção da rota recebeu uma nota entre A e F. Um A significava que o carro foi capaz de rodar na velocidade limite. Um F significava parado em congestionamento. (...) No centro de Washington, por exemplo, das 17 às 18 horas, 42% das ruas receberam nota E ou F”. (TIMES, 2002)

Ao analisar de maneira simplista, o presente trabalho apresenta embasamentos suficientes que comprovam a eficiência sobre o custo/benefício para implantação de um Sistema de Monitoramento de Trânsito, além de apresentar a importância de uma intervenção rápida no trânsito de Belo Horizonte, baseando-se em resultados eficientes de otimização na distribuição de fluxos e decisões rápidas em mudanças de sinalização e mão de direção, evitando constantes e bruscas mudanças físicos-espaciais. Nesse contexto, são abordadas simultaneamente as importâncias do uso de tecnologias em constante evolução como a telecomunicação móvel.

Por fim, é válido reiterar que modelagem de dados dinâmicos constitui-se em um desafio eminente para a próxima geração de GIS e conseqüentemente para a ciência geográfica.

“A localização e a distribuição dos homens, a localização e a distribuição das coisas e fenômenos que interessam aos homens são e serão preocupações permanentes da humanidade. E são, justamente, problemas dessa natureza que estão na origem e na base da atividade geográfica”. (FILHO, 2002)

CAPÍTULO 06 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMCET. **Associação Brasileira de Monitoramento e Controle Eletrônico de Trânsito.**[online] <<http://www.abramcet.com.br>>
- ALMEIDA, Cláudia Maria de, Antônio Miguel V. Monteiro, Gilberto Câmara, Britaldo Silveira Soares Filho, Gustavo Coutinho Cerqueira, Cássio Lopes Pennchin, Michael Batty. **Modelos Espaços Temporais em Planejamento Urbano: Desafio para Nova Geração de SIG.** [online]. <<http://www.gisbrasil.com.br/anais/2002/mostra/1472.zip>>, 2002.
- ARANHA, F (2000) Nomes e Tempo Circular. Revista Infogeo, Ano 2, Nº 11, Janeiro/Fevereiro-2000, p. 30-31.
- BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**, Dissertação de Mestrado, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.
- BURROUGH, P. **Dynamic Modelling and Geocomputation.** In: Longley, P.; Batty, M.; McDonnel, R. ed. *Geocomputation: A Primer*. London: John Wiley & Sons, 1998.
- BRASCHE, G. & WALKE, B. – **Concepts, Services and Protocols of the New GSM Phase 2+General Packet Radio Service**, IEEE Communications Magazine, pp. 94-104, August 1997
- BRUTON, Michel J. **Introdução ao planejamento dos transportes**; tradução de João Furtado Arruda, Carlos Braune. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979.
- CÂMARA, Gilberto; Casanova, Marco A.; Hemerly, Andréa S.; Magalhães, Geovane C.; Medeiros, Claudia M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Instituto de computação da UNICAMP, 1996.
- CÂMARA, Gilberto; Monteiro, A. M. V.; Medeiros, J. S. **Representações Computacionais do Espaço: Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação.** [online]. <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/epistemologia.pdf>>. Jan. 2002.
- CHRISTOFOLETI, A. **As perspectivas dos Estudos Geográficos.** In: A. Christofoleti (ed). *Perspectivas da Geografia*. São Paulo: Difel, 1985.
- CLARK, David. **Introdução a Geografia Urbana**; Tradução Lúcia Helena de Oliveira, Silvana Maria Pintaudi. São Paulo: Difel, 1985.
- COIFMAN, B.A. (1998) **New Methodology For Smoothing Freeway Look Detector Data: Introduction to Digital Filtering.** *Transportation Research Board*, The 779th Annual Meeting, Washington, D.C., EUA.
- CORMEN, T.H.; LEISERSON, C.E and RIVEST, R.L. **Introduction to Algorithms.** Cambridge: MIT Press, 1996.

- CORRÊA, R.L. **Espaço: um conceito chave na geografia**. In: I. E. Castro, P. C. Gomes and L.R. Corrêa (ed). Geografia conceitos e temas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.
- COUTINHO, Luciano, José E. Cassiolato, Ana Lúcia Gonçalves da Silva. **Telecomunicações, Globalização e Competitividade**. Campinas: Papirus, 1995. p.127-168
- DAVIS, C. Jr (1998). **Modelagem de Dados Geográficos**. Revista Infogeo, Ano 2, Nº 1 , Julho/Agosto-1998, p. 38-40.
- DETRANS, Associação Brasileira dos. **Manual para municipalização do trânsito**. [online] <<http://www.pr.gov.br/detran/Manual.rtf>>
- FÉ, Ana Lúcia Moura, **O Admirável Mundo Novo da 3G**, revista WORLD Telecom, Setembro/2001, pgs. 20-40.
- FILHO, Geraldo Cardoso de Lima. **A angústia de transitar**. Belo Horizonte: Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de Minas Gerais, 1973.
- GADRET, Hilton J. **Trânsito Superfunção Urbana**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas Serviços de Publicações, 1969.
- HARVEY, David. A condição pósmoderna. São Paulo: Ed. Loyola, 1993.
- KIKUCHI, S., D. MILJKOVIC e H.J.V. ZUYLEN (2000) **Examination of Methods that Adjust Observed Traffic Volumes on Network**. **Transportation Research Board**, The 79th Annual Meeting, Washington, D.C., EUA.
- KLEIN, L.; P. YI e H. TENG (2002) **Decision Support System fo Advenced Traffic Management Through Data Fusion and Mining**. **Transportation Research Board**, The 81th Annual Meeting, Washington, D.C., EUA.
- KONEZ, N. e T.M. ADMAS (2002) **Temporal Data Constructs for Multidimensional Transportation GIS Applications**. **Transportation Research Board**, The 81th Annual Meeting, Washington, D.C., EUA.
- LANGRAN, G. (1993) **Time in Geographic Information System**. Taylor & Francis. Washington, D.C., EUA.
- LIN, 1999. **An Introduction to GPRS**. <http://www.links2mobile.com/wp/wp3.htm>
- MENESES. H.B (2003) **Interface Lógica em Ambiente SIG para Bases de Dados de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego Urbano em Tempo Real**. **Dissertação Mestrado**, Universidade Federal do Ceará.

- MICHINORI, H (2002) Development of Spatial Tenporal GIS Basic System. Geographical Survey Institute, Technical Report 1, N° 275-2, Beijin, China.
- MILLER, H.J. e S. SHAW (2001) **GIS-Based Spatial Analysis and Modeling Ins**: Oxford University Press. London, UK.
- PREFEITURA Municipal de Belo Horizonte. **Lei de Parcelamento, uso e ocupação do solo do município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, agosto de 1996.
- PREFEITURA Municipal de Belo Horizonte. **Lei de Parcelamento, uso e ocupação do solo do município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, dezembro de 2000.
- PREFEITURA Municipal de Belo Horizonte. **Plano Diretor do município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, agosto de 1996.
- PREFEITURA Municipal de Belo Horizonte. **Plano Diretor do município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, dezembro de 2000.
- SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo, Nobel, 1985.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. São Paulo, Hucitec, 1996.
- SHALADOVER, S.E. (2002) **Panthfidrs. Traffic Technology International**, April/May – 2002.
- SILVA, C.A.F. **Os Avatares da Teoria da Difusão Espacial: Uma Revisão Teórica**. Rev. Brás. Geo. Rio de Janeiro. v.57, n.1, p.25-50 1995.
- SILVA, Moacir M.F, **Geografia dos Transportes no Brasil**. Rio de Janeiro, Serviço Gráfico do Instituto de Geografia e Estatística, 1949.
- SOARES, Luiz Ribeiro, **Engenharia de Tráfego – Institute of traffic Engineers**; Rio de Janeiro: Almeida Neves - Editores, 1975.
- ZHAO, F.; L. WANG; H. ELBADRAWI (1997) **Temporal Geographic Information System and Its Application to Transportation**. Transportation Research Board, The 76th Annual Meeing, Washington, D.C., EUA.