**UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA USUÁRIOS
DE TRANSPORTE COLETIVO EM CIDADES DE
MÉDIO PORTE**

HENRIQUE DO NASCIMENTO MARQUES

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia: Área de Concentração
Transportes.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antônio Néelson Rodrigues da Silva

São Carlos

1998

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Ao meu pai José, a minha mãe Valdenize, as minhas irmãs, Cristine, Márcia e Denize e a toda a minha família pelo apoio e encorajamento sempre presentes em todas as etapas para a realização deste trabalho.

Ao professor Antônio Nelson Rodrigues da Silva pela competente orientação, amizade e contribuição para o amadurecimento profissional.

A minha tia Yêda por todas as orações a mim dedicadas.

A Ana Paula pelo apoio, dedicação, carinho e compreensão, sem os quais não teria encontrado inspiração suficiente.

Ao Engenheiro Mauricio Olbrick Rodrigues pela concessão dos dados utilizados neste trabalho, sem os quais não teria sido possível a sua realização.

Aos professores do Departamento de Transportes da Universidade Federal do Ceará pelo apoio e incentivo.

Ao Departamento de Transportes da EESC-USP pela estrutura e equipamentos.

Aos professores e funcionários da pós-graduação pela excelente convivência.

Aos novos amigos, pela amizade e alegria compartilhadas nestes dois anos de estudo.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo suporte financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Estrutura do Trabalho.....	3
2. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Modos de Transporte Urbano.....	8
2.2.1 A Importância do Transporte Público Urbano.....	8
2.2.2 Características Gerais dos Modos de Transporte Público.....	9
2.3 Qualidade no Transporte Público Urbano.....	11
2.4 Transporte Coletivo Urbano por Ônibus.....	14
2.4.1 Vias de ônibus.....	15
2.4.2 Rotas.....	16

2.4.3 Pontos de Parada.....	18
2.5 Sistema de Informações aos Usuários.....	22
2.5.1 Principais Funções.....	22
2.5.2 Comunicação com o Público.....	22
2.5.3 Aplicações.....	23
3. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	27
3.1 Introdução.....	27
3.2 Definições e Características.....	28
3.3 Componentes de um SIG.....	31
3.4 Estruturas de dados.....	35
3.5 Modelos de Utilização de SIGs.....	37
3.6 Os Sistemas de Informações Geográficas e a Engenharia de Transportes no Brasil.....	42
3.7 O <i>software</i> TransCAD.....	45
4. METODOLOGIA.....	47
4.1 Introdução.....	47
4.2 Funcionamento do Atendimento a Consultas.....	48

4.3 Etapas da Metodologia Empregada.....	51
4.3.1 Aprendizado do <i>Software</i>	52
4.3.2 Coleta de Dados.....	53
4.3.3 <i>Hardware</i> Usado.....	55
4.3.4 Entrada de Dados.....	55
4.3.5 Processamento de Dados.....	58
4.4 Sumário de Atividades.....	63
 5. ESTUDO DE CASO.....	67
5.1 Introdução.....	67
5.2 Área do Estudo de Caso.....	68
5.2.1 Critérios de Definição.....	68
5.2.2 Dados Utilizados.....	70
5.3 Procedimentos Adotados.....	72
5.4 Aplicação do Sistema de Consulta de Itinerários.....	76
5.5 Problemas observados.....	81
 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - Elementos de um Sistema de Informações Geográficas	29
FIGURA 3.2 - Mapa temático gerado por um SIG.....	30
FIGURA 3.3 - Estrutura <i>raster</i> e <i>vector</i>	36
FIGURA 4.1 - Fluxograma de processamento de consultas.....	48
FIGURA 4.2 - Descrição dos capítulos do tutorial para o <i>software</i> TransCAD 3.0.....	53
FIGURA 4.3 - Imagem vetorial do sistema viário digitalizado.....	56
FIGURA 4.4 - Detalhe de um mapa de localização dos pontos de ônibus da cidade de São Carlos-SP.....	58
FIGURA 4.5 - Representação gráfica da localização da origem e do destino informados pelo passageiro.....	59
FIGURA 4.6 - Resposta gerada pelo programa sobre a localização geográfica de endereços.....	60
FIGURA 4.7 - Representação gráfica de uma rota de ônibus.....	61
FIGURA 4.8 - Rotas agrupadas utilizando o recurso <i>tracking</i>	62
FIGURA 4.9 - Informações adicionais sobre as linhas de ônibus.....	65
FIGURA 5.1 - Localização da área de estudo.....	69
FIGURA 5.2 - Sistema de transporte coletivo de São Carlos.....	70
FIGURA 5.3 - Parte da base de dados de ruas contendo os nomes dos logradouros.....	71

FIGURA 5.4 - Modelo utilizado pelo <i>software</i> para a localização geográfica do passageiro.....	77
FIGURA 5.5 - Tela contendo a origem e o destino fornecidos pelo passageiro.....	77
FIGURA 5.6 - Tela com resultados do caminho mínimo.....	78
FIGURA 5.7 - Saída dos resultados gerados pelo <i>software</i> sobre a consulta de itinerários.....	79
FIGURA 5.8 - Rota ótima representada entre origem e destino fornecido pelo usuário.....	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Principais características técnicas dos modos de transporte público.....	11
TABELA 2.2 - Instalações necessárias ao ponto de parada.....	21
TABELA 3.1 - Modelos de utilização de SIGs e seus benefícios imediatos.....	41
TABELA 4.1 - Mapas digitalizados requeridos neste projeto.....	57
TABELA 5.1 - Cronograma da principais etapas do projeto.....	85

RESUMO

MARQUES, H.N. (1998). *Um sistema de informações para usuários de transporte coletivo em cidades de médio porte*. São Carlos – SP, 1998. 96p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O presente trabalho propõe a implantação de um sistema de consulta por telefone para usuários de transporte coletivo, baseado num Sistema de Informações Geográficas (SIG), oferecendo dentre outras informações referentes ao sistema de transporte público, as rotas ótimas entre origens e destinos informados pelos passageiros. Este sistema se fundamenta em uma base de dados ampla e atualizada, com uma grande gama de informações sobre a rede de transporte público, incluindo: cadastro de logradouros, malha de circulação viária, pontos de parada e itinerários de linhas de ônibus. Escolheu-se como estudo de caso o sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos – SP, cujas principais informações foram obtidas na forma cartográfica e transferidas para o formato digital, via mesa digitalizadora e através de rotinas específicas do *software*. Os dados espaciais e atributos, necessários a aplicação do sistema proposto, foram processados em um *software* para SIG, denominado TransCAD, que constitui uma poderosa ferramenta de planejamento, gerência, operação e análise de sistemas de transporte. Os resultados aqui obtidos indicam que pode ser viável implantar um sistema de consulta dessa natureza em cidades de porte médio, sem grandes investimentos, desde que haja mão-de-obra qualificada e um treinamento prévio dos técnicos que irão operá-lo, como condições essenciais para o sucesso do projeto.

ABSTRACT

MARQUES, H.N. (1998) *A transit information system for medium-sized cities* São Carlos – SP, 1998. 96p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The purpose of this study is to propose the implementation of a transit information system based on a Geographic Information System (GIS). The new system is designed to offer information by telephone about the public transportation system, such as the optimal routes between the origins and destinations provided by the system's users. This query system is based on a broad and updated database, that contains a large amount of information on the city's transit network, including the names of all the city's street, the network of streets accessible by bus, bus stops and routes. The public transportation system of the city of São Carlos, located in the state of São Paulo, was selected for a case study. Both spatial and nonspatial data needed for application of the proposed system were processed in the same GIS software, called TransCAD, which is a powerful tool for planning, management, operation, and analysis of transportation systems. The basic geographic information has been transferred from printed maps - the main sources of this type of data - to digital format with the help of software routines and a small digitizing tablet. The results obtained in this study suggest that the system can be implemented easily in medium-sized Brazilian cities, without the need for significant investments. The basic requirements for the success of this kind of project are as follows: a qualified staff to implement the system, and some prior training for the technician who is going to operate the system.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de transporte é hoje tão importante quanto as demais redes de infraestrutura (água, esgoto, gás, pavimentação, iluminação, telefonia, etc.) de qualquer região e o grau de desenvolvimento e crescimento de uma cidade está ligado diretamente ao grau de sofisticação do seu sistema de transporte. Toda cidade requer mobilidade para o seu funcionamento – pessoas precisam se locomover de suas residências para os locais de trabalho, insumos e bens acabados precisam chegar até os consumidores, etc. De uma maneira geral, as opções de trabalho, lazer e compras e o acesso à saúde, educação, cultura e informações dependem da qualidade do sistema de transporte.

Num país onde mais de 78 milhões de viagens motorizadas são realizadas por dia; estima-se que mais de 70% sejam realizadas por meios dos transportes coletivos. Aproximadamente 62% das pessoas que utilizam os coletivos têm por motivo o trabalho. Isto comprova sua importância social e seu papel como instrumento de produção (PADILHA, 1998).

Os usuários cativos do sistema de transporte público conhecem bem as linhas que utilizam para os seus deslocamentos diários, porém algumas vezes precisam utilizar linhas, às quais não estão habituados. Agora imagine que um usuário não cativo (um turista, por exemplo) decida conhecer os principais pontos turísticos da cidade de ônibus. Antes de se locomover de um lugar para outro, ele precisa saber a melhor maneira de chegar ao seu destino. Então surgirão as primeiras indagações: Decidir para onde ir? Como chegar lá? Qual o melhor caminho? Ou seja, como obter mais

informações sobre o sistema de transportes. Encontrar respostas a estas perguntas, é justamente isso que um sistema de informação se propõe a fazer pelo usuário.

Um sistema de informações está voltado à qualificação do serviço de transporte público, onde os usuários possam dispor de um sistema de transporte mais eficiente e eficaz, contribuindo assim para a melhoria da prestação dos serviços essenciais à sociedade. Desta forma, quando o nível de utilização dos automóveis for tão elevado que já não permita uma circulação livre de congestionamentos (o que já se observa nas grandes cidades), pode-se até esperar que ocorra uma maior atração dos usuários de veículos particulares para o modo ônibus, reduzindo o número de automóveis nas vias, oferecendo um fluxo menos congestionado e propiciando uma melhoria na qualidade ambiental com a redução de poluentes.

A motivação para realizar este trabalho surgiu pela dificuldade que enfrentam os passageiros do sistema de transporte coletivo em conseguir informações sobre os itinerários que os ônibus percorrem, os horários disponíveis, a frequência oferecida pelo serviço, dentre outras. A idéia é de fornecer subsídios para a criação de centrais de atendimento aos usuários (CAU), com a finalidade de receber reclamações e prestar informações sobre o sistema de transporte público, utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG), que é uma tecnologia em contínuo processo de expansão na solução de problemas de transportes. O Sistema de Informações Geográficas vem ao encontro desta realidade, devido ao seu potencial de integração com o usuário, de sua capacidade de cruzamento de informações geográficas, velocidade de operação, capacidade de simulações e versatilidade na apresentação de informações espaciais.

A idéia de elaborar um sistema de informações para usuários de transporte público baseado em SIG não é nova. Significativos esforços foram observados nos trabalhos de ZUPPO et al. (1996), NASSI et al. (1996) e DAVIS (1997). Em todos estes trabalhos foram observadas dificuldades em desenvolver algoritmos e programas

externos ao Sistema de Informações Geográficas para solucionar problemas de caminho mínimo.

O sistema de consulta proposto neste trabalho, que deverá agilizar o fornecimento de informações aos usuários do sistema de transporte coletivo, por meio do atendimento telefônico, contará com recursos de análise de rede contidos em um *software* de SIG para transportes, denominado TransCAD, sem a necessidade de recorrer a algoritmos ou programas externos ao *software*. Desta forma, poderá proceder à localização geográfica de endereços e pontos de referência, sendo capaz de determinar as rotas ótimas, via ônibus, entre dois pontos quaisquer.

1.1 Objetivo

Este trabalho pretende fornecer subsídios para a implantação de um sistema de informações para usuários de transporte coletivo (sistema de consulta por telefone), apoiado em um SIG, oferecendo informações relativas a tarifas, linhas, itinerários, localização dos pontos de parada, horários, frequência e determinação de rotas ótimas entre origens e destinos informados pelos passageiros.

1.2 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos. O capítulo 2, *Transporte Público Urbano*, apresenta as principais características dos modos de transporte público urbano; destaca como a qualidade no transporte público urbano é importante; justifica a predominância de uso do ônibus com relação as outras modalidades e, finalmente, mostra como a comunicação com o público influi na melhoria dos serviços prestados a população.

O capítulo 3, *Sistema de Informações Geográficas*, apresenta características e conceitos gerais de SIG e traça um breve panorama da utilização do SIG no planejamento urbano. O capítulo 3 também contém uma rápida revisão dos trabalhos publicados nos principais congressos, simpósios, seminários e revistas que abordam a questão dos transportes no Brasil e, por último, introduz o *software* de SIG que será utilizado neste trabalho.

O capítulo 4, *Metodologia*, faz uma descrição detalhada do método empregado neste trabalho e apresenta o funcionamento do sistema de consulta de itinerários.

Para destacar os aspectos importantes deste sistema, um estudo de caso, baseado nas linhas de ônibus que compõem o sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos – SP, é apresentado no capítulo 5, *Estudo de Caso*. Os principais aspectos do sistema de consulta apresentado no capítulo anterior, bem como o procedimento para a utilização do mesmo são discutidos com a ajuda do estudo de caso.

Finalmente, o capítulo 6, *Conclusões e Recomendações*, apresenta as conclusões extraídas do trabalho e menciona recomendações e sugestões para futuros trabalhos.

2. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Neste capítulo, apresenta-se uma classificação e um relato sucinto das características dos modos de transporte público urbano; relata-se a importância da qualidade no transporte público; introduz-se o transporte coletivo por ônibus, justificando a sua predominância em relação as outras modalidades e descrevendo as formas de tratamento com relação as vias, rotas, pontos de parada e, finalmente, mostra-se como a comunicação com o público influi na melhoria dos serviços prestados à população.

2.1 Introdução

Transporte é a denominação dada à movimentação de pessoas e de produtos. O ideal é que esta movimentação se dê de modo seguro, rápido, confortável, conveniente, e econômico, com o mínimo de interferência com o meio ambiente.

A constante necessidade de deslocamentos nas cidades modernas faz com que a qualidade do sistema de transporte urbano seja tão importante para a qualidade de vida da população quanto os serviços essenciais, tais como: coleta de esgoto, abastecimento de água, fornecimento de energia elétrica, etc.

Segundo FERRAZ (1997), aproximadamente 80% da população vive nas cidades. O Brasil tem 120 milhões de pessoas vivendo em aglomerados urbanos, cerca

de 75% da população total de 160 milhões. Estima-se que daqui a 50 anos, quando a população brasileira se estabilizar em cerca de 240 milhões de habitantes, a população urbana no país deverá alcançar 192 milhões, considerando um aumento no índice de urbanização de 75% para 80%. Esses valores evidenciam a relevância do equacionamento adequado da questão do transporte urbano no país, pois a qualidade desse transporte afetará a qualidade de vida da grande maioria da população.

As cidades brasileiras apresentam problemas sérios de transporte e qualidade de vida, tais como: queda da mobilidade e da acessibilidade, aumento dos congestionamentos, aumento nos impactos ambientais produzidos pelos sistemas de transportes (sobretudo poluição sonora e atmosférica), altos índices de acidentes de trânsito, maiores tempos de viagem e conseqüentemente redução na qualidade de vida para moradores destas áreas (BALASSIANO, 1997). Esta situação decorre de muitos fatores sociais, políticos e econômicos, mas resulta também de decisões passadas relativas às políticas urbanas, de transporte e trânsito.

Com o país atravessando um período de relativa estabilidade econômica, apresentando baixas taxas de inflação, o crédito ao consumidor foi facilitado e com isso uma parcela significativa da população tem hoje acesso mais fácil ao automóvel, cuja frota cresceu acentuadamente. Formou-se, assim, uma cultura do automóvel, responsável pelo desvio de muitos recursos para atender as suas necessidades. Simultaneamente, os sistemas de transporte público, apesar de terem sido contemplados com alguns investimentos importantes, não estão sendo suficientes para atender a uma demanda que não pára de crescer. Eles têm passado por crises cíclicas provocadas principalmente pela incompatibilidade entre custos, tarifas e receitas, pelas deficiências na gestão e operação e pelas dificuldades de se conseguir prioridade efetiva de circulação (ANTP, 1997a).

Os sistemas de transporte público passam por um declínio na sua importância, na sua eficiência e na sua confiabilidade junto ao público, tornando-se um mal necessário para aqueles que não têm outra opção de deslocamento. Como conseqüência imediata, houve a formação de dois grupos que refletem, na prática, as desigualdades sociais e

econômicas de nossa sociedade: os que têm acesso ao automóvel e os que precisam do transporte público, ou seja, enquanto uma parcela reduzida goza das melhores condições de transporte, a maioria continua tendo o seu direito de ir e vir limitado (ANTP, 1997a).

A necessidade de uma grande mobilização torna-se cada vez mais evidente. Hoje mais de 75% da população brasileira vivem em áreas urbanas, nas quais a maioria das pessoas precisa do transporte coletivo para os seus deslocamento diários. As condições atuais de transporte são precárias para a maioria da população, pelo desconforto, congestionamentos e acidentes. Com o objetivo de reverter esta situação, é necessário fazer um reexame do modelo atual de transporte e circulação das cidades brasileiras, que proporcione melhores opções de deslocamento, juntamente com uma maior eficiência geral do sistema. Isto só pode ser obtido caso o processo de desenvolvimento urbano e as políticas de transporte e trânsito sejam revistas, de forma a gerar um equilíbrio entre os vários modos, que aumente a eficiência geral do sistema e garanta condições adequadas para a maioria dos usuários (ANTP, 1997a). Para se conseguir estes resultados, as políticas necessárias devem ser adotadas, de acordo com a ANTP (1997a), de forma a garantir:

- Melhor qualidade de vida para toda a população, traduzida por condições dignas de transporte, segurança de trânsito e acessibilidade para a realização das atividades essenciais à vida moderna;
- Eficiência, demonstrada pela disponibilidade de uma rede de transportes integrada por modos complementares, trabalhando em regime de eficiência, com prioridade efetiva para os meios coletivos;
- Qualidade ambiental, representada pelo controle dos níveis de poluição atmosférica e sonora, pela proteção do patrimônio histórico, arquitetônico, cultural e ambiental e das áreas residenciais e de vivência coletiva contra o trânsito indevido de veículos.

2.2 Modos de Transporte Urbano

Uma das classificações mais difundidas sobre os modos de transporte urbano de passageiros é proposta por VUCHIC (1981). Segundo esta classificação, os modos são divididos em três grandes grupos: privado, público e semi-público ou de aluguel.

No modo privado, o usuário é o proprietário do veículo, possuindo total flexibilidade no tempo e no espaço. Modos mais comuns de transporte privado: o modo à pé, sendo o veículo o próprio corpo humano, bicicleta, motocicleta, automóvel e veículo com tração animal.

No modo público, os veículos percorrem rotas e horários pré-definidos. Os veículos possuem maior capacidade, mas não possuem flexibilidade espacial nem temporal. O usuário pode utilizar livremente os veículos em circulação, desde que pague a tarifa estabelecida pela empresa operadora. Modos mais comuns de transporte público: ônibus, trólebus, bonde, pré metrô, metrô e trem de subúrbio.

No modo semi-público, o usuário encontra características intermediárias entre o público e o privado. Modos mais comuns de transporte semi-público: táxi, carona programada (*carpool*), lotação, veículos fretados ou de aluguel.

2.2.1 A Importância do Transporte Público Urbano

Apesar do automóvel ser na atualidade um dos principais modos de transporte urbano e oferecer uma série de vantagens com relação aos demais modos, ele não será o alvo desse estudo. Os modos de transporte semi-público também não serão aqui analisados, por não representarem uma parcela significativa no Brasil. Dentre os vários modos de transporte urbano, o transporte público, representado pelo modo ônibus, se constitui no modo mais importante no Brasil, pois é o responsável por mais da metade das viagens urbanas realizadas.

Segundo FERRAZ (1997), o transporte público constitui um serviço indispensável nas cidades, apresentando um papel social e econômico de extrema importância, pois:

- Democratiza a mobilidade, permitindo a locomoção para aqueles que não possuem automóvel ou não podem dirigir (pobres, idosos, crianças, adolescentes, deficientes físicos, etc.);
- Constitui uma alternativa de transporte em substituição ao automóvel, aliviando os congestionamentos, a poluição e o uso abusivo de energia automotiva (principalmente do petróleo, uma vez que as fontes são finitas e não renováveis);
- Ainda como substituto do automóvel, reduz a necessidade de investimentos na construção de vias e estacionamentos, etc., permitindo que os recursos sejam destinados a setores de maior relevância social, bem como uma utilização mais racional e humana do solo urbano.

2.2.2 Características Gerais dos Modos de Transporte Público

De maneira genérica, os principais tipos de tecnologia empregados no transporte público urbano são: ônibus, ônibus elétrico ou trólebus, bonde, pré-metrô, metrô e trem de subúrbio. A seguir será feita uma descrição sucinta das tecnologias, baseados em estudos realizados por FERRAZ (1997).

Na grande maioria das vezes, os ônibus e trólebus se movimentam junto com o tráfego em geral. A locomoção em faixas parcialmente ou totalmente segregadas tem sido adotado nos corredores congestionados das grandes cidades, com o objetivo de aumentar a velocidade comercial e a capacidade do modo. Os ônibus comuns apresentam largura máxima em torno de 2,6m e comprimento limite por volta de 12m. Os ônibus com 10m de comprimento têm capacidade para cerca de 80 passageiros. A capacidade dos ônibus de 12m chega a 105 passageiros. Veículos articulados, com 18m

de comprimento, têm capacidade para até 180 passageiros e bi-articulados, com 24m, capacidade para 240 pessoas.

A modalidade bonde alimentada com energia elétrica foi o primeiro sistema de transporte público motorizado. Atualmente veículos modernos com comprimentos entre 14 e 23m operando sozinhos ou em comboios de 2 ou 3 unidades, são empregados em algumas cidades do mundo; a maior parte se movimenta junto com o tráfego normal (movimentos em faixas exclusivas são exceções). A capacidade dos bondes comuns situa-se entre 130 e 230 passageiros, dependendo do tamanho e do *layout* interno.

O sistema conhecido por pré-metrô é quase sempre implantado em faixas totalmente segregadas. Raros são os casos de movimento junto com o tráfego em geral. Os veículos têm comprimentos entre 14m e 30m, com capacidade entre 150 e 350 passageiros, dependendo do tamanho e do *layout* interno.

O metrô opera em vias específicas completamente isoladas, possibilitando grandes velocidades e capacidades. Os veículos típicos empregados no transporte metroviário têm largura entre 2,5 e 3,2m e comprimento entre 15 e 23m, com capacidade entre 160 a 300 passageiros, dependendo do tamanho e do *layout* interno. O transporte é normalmente realizado em comboios de 4 a 10 unidades agrupadas.

O sistema denominado trem de subúrbio refere-se ao transporte de características regionais/locais realizado nas grandes metrópoles, nas mesmas vias do transporte ferroviário interurbano já existentes. O sistema é caracterizado por viagens relativamente longas, grande distância entre estações e alta velocidade. Os veículos empregados são em geral os mesmos do transporte de passageiros interurbano, largura entre 2,5 e 3,2m e comprimento de 20 a 26m, com capacidade entre 180 e 250 passageiros. O transporte é normalmente realizado em comboios de 4 a 10 carros.

A tabela 2.1 apresenta, em intervalos de valores, um resumo das características técnicas mais importantes dos principais modos de transporte público urbano.

TABELA 2.1 – Principais características técnicas dos modos de transporte público.

Características	Modos				
	Ônibus	Bonde	VLT	Metrô	Subúrbio
Largura (m)	2,4 – 2,6	2,4 – 2,6	2,4 – 2,8	2,5 – 3,2	2,5 – 3,2
Comprimento (m)	10 – 24	14 – 23	14 – 30	15 – 23	20 – 26
Capacidade (pass)	80 – 240	130 – 230	150 – 350	160 – 300	180 – 250
Unidades em comboio	1 – 4 independ.	1 – 3 engatadas	1 – 4 engatadas	4 – 10 engatadas	4 – 10 engatadas
Velocidade (km/h)	10 – 20	10 – 20	20 – 40	25 – 60	40 – 70
Capacidade (mil pass/h)	5 – 15	5 – 15	10 – 30	25 – 60	20 – 50
Distância entre paradas (m)	200 – 400	200 – 400	400 – 800	700 – 2000	1500 – 4000

Fonte: FERRAZ (1997).

2.3 Qualidade no Transporte Público Urbano

A qualidade de vida urbana tem sido motivo de preocupação para diversos segmentos da sociedade e para a população em geral. Dentro deste contexto, os serviços de transporte público desempenham papel importante no espaço urbano, determinando, principalmente para aqueles com menor poder aquisitivo, o direito de ir e vir em busca do trabalho, da cultura e do lazer (BALASSIANO, 1997).

Nas cidades brasileiras, os sistemas de transportes operam muitas vezes com baixa produtividade, pouca confiabilidade, frequência irregular, inadequação tecnológica, entre outros problemas que poderiam ser listados (BALASSIANO, 1997). A falta de qualidade desses sistemas e o rápido aumento da frota de veículos, justificam parcela significativa dos problemas de circulação enfrentados em muitas cidades

brasileiras. Para se ter uma idéia do tamanho da frota de veículos no país: havia 1,4 milhão de veículos em 1966, 23,5 milhões em 1996, e um estudo elaborado pelo GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte) projeta a duplicação da atual frota nos próximos dez anos (PADILHA, 1998).

A expansão da frota de ônibus clandestinos operando nas principais capitais brasileiras pode ser em parte atribuída ao baixo nível de serviço oferecido pelas empresas operadoras. Atualmente veículos de baixa capacidade (*vans* e *kombis*) passaram a fazer concorrência aos ônibus na operação dos principais corredores, numa operação, na maior parte dos casos, desregulamentada (BALASSIANO, 1997).

Diante das novas exigências da sociedade, empresas de diversos ramos têm cada vez mais abordado a qualidade como um fator de competitividade e de sobrevivência. Neste contexto, o setor de transportes não poderia ficar excluído de tal movimento, porém quando comparado com os exemplos nacionais de transporte rodoviário de carga e de transporte aéreo, observa-se que o transporte coletivo por ônibus, de uma maneira geral, deixa muito a desejar.

Uma das principais preocupações de quem planeja um Sistema de Transporte Coletivo é a busca por um equilíbrio entre a manutenção de uma tarifa reduzida (que seja acessível à população) e a melhoria na qualidade dos serviços ofertados aos usuários (de segurança, conforto, eficiência e confiabilidade) (BARTOLI et al., 1996).

Dois aspectos do transporte coletivo urbano são essenciais: a eficácia e a eficiência. A eficácia refere-se à qualidade do serviço e a eficiência à produtividade do mesmo. No planejamento de sistemas de transporte público das cidades, o objetivo principal é oferecer um serviço de qualidade satisfatória (eficácia em nível aceitável), ao menor custo possível (eficiência máxima) (SILVA & FERRAZ, 1991).

De acordo com a MERCEDES BENZ DO BRASIL (1987), as exigências do passageiro, consideradas relevantes para a qualidade do serviço de transporte coletivo por ônibus, são:

- Distâncias curtas a pé aos pontos de parada mais próximos por onde passam os ônibus que vão ao destino desejado ou à sua vizinhança;
- Segurança (redução dos riscos de acidentes entre veículos, conflitos e assaltos no interior dos veículos);
- Mínimo tempo de espera;
- Confiabilidade (cumprimento do horário preestabelecido, poucas quebras);
- Viagens rápidas (fluidez no tráfego e nos pontos de parada);
- Conforto (ausência de baldeações ou então integrações coordenadas e rápidas; número de passageiros por metro quadrado; limpeza dos ônibus, terminais, paradas, etc.);
- Tarifas baixas; e
- Atendimento dos seus desejos de deslocamentos (60% trabalho, 23% estudo).

Deve-se observar que, na prática, dificilmente o passageiro tem estas exigências cumpridas satisfatoriamente. As distâncias para os pontos de parada, às vezes são inadequadas, tendo o passageiro que percorrer longas distâncias a pé para pegar o ônibus. Os tempo de espera são longos e a viagem demorada, tendo o passageiro que usar vários meios de transportes sem integração modal e tarifária, sendo obrigado a pagar mais de uma tarifa.

Embora estas exigências tenham definições próprias e objetivas, elas representam valores subjetivos que passam pela percepção do passageiro, que é influenciado por um conjunto de características próprias do indivíduo. Desta forma, torna-se essencial considerar o perfil do passageiro, podendo-se então analisar as diferentes maneiras de percepção, peculiares de cada grupo, ou seja, como os passageiros enxergam o transporte e o que desejam deste serviço.

2.4 Transporte Coletivo Urbano por Ônibus

O transporte coletivo urbano existe em função das atividades e necessidades econômicas e sociais dos habitantes de uma comunidade, sendo indispensável em comunidades carentes de recursos, uma vez que o automóvel particular não está ao alcance de todos. Já em comunidades abastadas, a falta de condições espaciais para os deslocamentos essenciais provocados por congestionamentos e estacionamento desestimulam o uso do automóvel, desde que haja soluções alternativas. Desta forma, tem-se no Brasil o ônibus como sinônimo de transporte coletivo urbano, sendo esta a principal tecnologia utilizada para este fim.

O ônibus é provavelmente o modo de transporte mais difundido em todo o mundo. Este fato está relacionado com sua flexibilidade, sua capacidade de adaptar-se a diferentes demandas, sua tecnologia simples, sua facilidade em trocar de rotas ou criar novas rotas, além dos baixos custos de fabricação, implementação e operação quando comparados a outros modos. Tudo isto faz com que o ônibus seja, atualmente, o principal modo de transporte público disponível em cidades de pequeno e médio portes, além de um importante complemento para os modos de alta capacidade nas grandes cidades (BALASSIANO, 1997; SILVA & FERRAZ, 1991).

Segundo a MERCEDES BENZ DO BRASIL (1987), as causas do ônibus ter sido tão amplamente empregado com relação a outras modalidades de transporte são:

- Requer menor investimento inicial do que os sistemas sobre trilhos;
- Por sua natureza, ser meio essencial de transporte;
- Flexibilidade na adequação de itinerários e expansão de trajetos;
- Rapidez na implantação;
- Poder transportar demandas elevadas e atingir altas velocidades, desde que em condições prioritárias;
- Valor de revenda alto;

- Ser operado na maioria dos casos pela iniciativa privada e apenas regulamentado por órgãos públicos.

Desta maneira, o ônibus está integrado na configuração da maioria das cidades brasileiras como meio de transporte coletivo essencial. Estima-se que ele atenda cerca de 95% dos deslocamentos urbanos (trabalho, escola, compras, lazer e outras atividades) por transporte público no país, considerando-se aí também o trólebus (ANTP, 1997a).

Os elementos que serão vistos a seguir são características físicas, das quais o sistema de transporte depende, em maior ou menor grau, para a sua operação.

2.4.1 Vias de ônibus

O bom desempenho do transporte coletivo é uma condição imprescindível para a eficiência da cidade e para a qualidade de vida. As vias utilizadas pelos ônibus devem ter como objetivo proporcionar melhores condições de circulação para os veículos de transporte coletivo. Dependendo das características de cada local, podem ser organizadas de acordo com vários níveis de prioridade (ANTP, 1997a). Segundo a ANTP (1997a) os principais objetivos devem ser:

- Possibilitar a redução do tempo de viagem, dando prioridade à modalidade de maior capacidade de transporte de pessoas;
- Racionar e reorganizar o serviço de ônibus, em função da redução de investimentos na quantidade de veículos requeridos;
- Diminuir o consumo de combustíveis, com redução e otimização do custo operacional;
- Melhorar as condições do serviço prestado, permitindo o estabelecimento de nova imagem dos serviços oferecidos à população, principalmente se as

medidas forem ligadas a melhorias nos veículos, modelo operacional e de gestão, etc.;

- Criar eixos preferenciais para o transporte coletivo, com tratamento adequado e atendendo as necessidades de demanda;
- Proporcionar melhor qualidade ambiental nos corredores de transporte coletivo e nas áreas adjacentes;
- Garantia de prioridade para o transporte público no caso de vias congestionadas; e
- Melhorias das ligações por transporte coletivo entre regiões da cidade.

Nas grandes cidades brasileiras a maioria da população utiliza o ônibus para seus deslocamentos rotineiros para ir ao trabalho, escola, compras, lazer e outras atividades urbanas. Para se alcançar uma boa qualidade do serviço de transporte coletivo, é essencial que nas vias onde ocorrem grandes fluxos de ônibus e de concentração de passageiros sejam implementadas medidas de priorização para circulação dos ônibus. Desta forma, os ônibus circulam com maior fluidez, livres de congestionamentos e da disputa do espaço viário com o tráfego em geral.

2.4.2 Rotas

As linhas de transporte público devem passar pelos principais pólos de atração de viagem da área que é destinada a atender, assim como proporcionar uma cobertura satisfatória das áreas habitadas. Locais como *shopping centers*, distritos industriais, terminais de transportes, escolas, universidades, centros esportivos, etc., localizados na área de atendimento, são pontos de passagem quase sempre obrigatórios. O itinerário da linha deve, também, permitir que todos os habitantes, de uma determinada área coberta pelo sistema de transporte público, possam utilizá-lo com percursos realizados a pé dentro de limites toleráveis.

Em função do atendimento oferecido e do itinerário desenvolvido, as linhas de ônibus recebem uma classificação. Cada tipo de linha se ajusta melhor a um determinado padrão de atendimento. Conhecer o comportamento da demanda a ser atendida é imprescindível para determinar o tipo de linha de ônibus que apresentará os melhores resultados operacionais.

De acordo com SILVA & FERRAZ (1991), os tipos mais usuais de linhas de ônibus são:

- Radial: realiza a ligação entre pontos da cidade e o centro da cidade. É indicada para atender grandes fluxos de passageiros, tendo como destino final o centro da cidade;
- Diametral: realiza a ligação entre bairros diametralmente opostos passando pelo centro. Para cidades de pequeno e médio porte é o melhor tipo de linha, pois evita transferências e o pagamento de duas ou mais passagens;
- Circular: opera continuamente, sem ponto inicial ou final podendo passar ou não pelo centro da cidade; e
- Interbairro: faz a ligação entre sub-centros de bairros, não passando pelo centro da cidade.

Na elaboração da rede de transporte público em cidades médias, FERRAZ (1997) recomenda a observação de quatro aspectos, para alcançar uma eficiência satisfatória do sistema:

- Evitar a sobreposição das zonas de influência de duas ou mais linhas, com exceção da área central, ou quando uma das linhas cruzar a zona de influência de outra com o objetivo de atingir áreas mais afastadas;
- Definir adequadamente as zonas de influência de cada ligação, com a finalidade de evitar uma excessiva ociosidade na oferta nos períodos de baixo movimento;
- Estabelecer, para cada itinerário, o caminho mais direto possível e, de preferência, com os itinerários de ida e volta na mesma via ou em vias

próximas. Devem ser evitados itinerários sinuosos e tortuosos, pois os traçados diretos levam, quase sempre, a um desempenho mais eficiente e eficaz do serviço, bem como são bem mais fáceis de serem compreendidos e usados pelos usuários; e

- Utilizar linhas diametrais sempre que houver equilíbrio na demanda e significativo número de viagens.

2.4.3 Pontos de Parada

Os locais de embarque e desembarque de passageiros dos ônibus, localizados nos passeios públicos, são chamados, de um modo geral, de pontos de parada. Os pontos de parada são de grande importância para a operação e imagem de um serviço de transporte público: neles os usuários têm o primeiro contato com a rede de transporte público e seu espaçamento determinará o desempenho operacional das linhas e influenciará nos custos de operação.

Como os pontos de parada são componentes importantes na determinação da capacidade de um sistema de transporte público, é fundamental que sejam localizados e dimensionados adequadamente. Os pontos podem ser simples, onde todos os ônibus param; seletivos, onde em cada ponto só param algumas linhas pré-definidas; e múltiplos, quando operam ônibus em comboios de dois ou mais veículos.

A identificação dos pontos de parada pode ser feita com marcas em postes de energia ou telefone, com a colocação de marco específico (geralmente um pequeno poste com ou sem placa contendo dizeres) e com a colocação de abrigos. Uma maneira de se oferecer maior conforto aos usuários durante a espera é através da colocação de abrigos nos pontos de ônibus. Se o local tiver banco para sentar, a comodidade é ainda maior.

A não sinalização dos pontos de parada, fato comum nas regiões periféricas de algumas cidades, não prejudica diretamente os usuários cativos, que sabem onde os ônibus param. Refletem, no entanto, uma certa desorganização do serviço. Para os

usuários não cativos a sinalização clara dos pontos é fundamental na utilização do transporte coletivo.

Os pontos de parada exigem soluções construtivas resistentes e funcionais e ao mesmo tempo devem renovar e enriquecer esteticamente o meio urbano, dando identidade visual à rede de transporte público. O ponto de parada pode requerer, além do abrigo, iluminação própria, banco, lixeira, mapas e informações operacionais sobre a rede de transporte e o órgão gestor (ANTP, 1997a).

Segundo a ANTP (1997a), para a implantação de pontos de parada devem ser considerados os seguintes:

- Colocar pontos de parada nos locais mais convenientes para os usuários e que ofereçam boas condições de segurança na travessia; todavia, evitar colocá-los imediatamente após cruzamento importante, em posição inadequada em relação ao semáforo, em locais de rampa acentuadas ou junto à entrada de garagens e estacionamentos;
- Em vias expressas ou vias de alta velocidade, colocar baias para a parada dos ônibus, nos pontos de parada; quando o volume de ônibus for elevado, colocar pavimentos rígidos junto aos pontos;
- Cobrir o ponto de parada para a proteção contra intempéries e pavimentar e iluminar a calçada;
- Dimensionar o ponto de parada para o volume máximo de demanda prevista para o local (às vezes não basta cobrir apenas o espaço da porta de embarque); adotar soluções modulares que possam ser agrupadas segundo a dimensão necessária do ponto de parada;
- Dotar o ponto de parada de informações sobre as linhas de ônibus que passam no local e também outras informações de interesse dos usuários;
- Prever a exploração publicitária nos pontos de parada como forma de ressarcimento dos custos de implantação e manutenção dos abrigos. Entretanto, o contrato de exploração comercial deve prever a comercialização

de toda a rede de pontos, incluindo aí aqueles instalados em regiões periféricas de menor poder aquisitivo, ou pontos de menor afluxo de usuários.

Vale ressaltar que a cidade deve adotar um padrão de ponto de parada e o que o mesmo deve se estender às regiões periféricas, não bastando o tratamento apenas dos pontos localizados na região central. Do ponto de vista da qualidade do serviço para os usuários, os pontos de parada devem possuir, pelo menos, algumas instalações consideradas essenciais. A tabela 2.2 apresenta o que deve ser colocado nos pontos de parada para um atendimento mínimo, razoável e bom aos usuários.

TABELA 2.2 – Instalações necessárias ao ponto de parada.

Instalações necessárias ao ponto de parada	Exigências mínimas	Ponto desejável	Instalações completas
<u>Informações ao passageiro</u>			
Identificação característica de ponto de parada	☹	☺	☺
Identificação das linhas – nome e número/código	☹	☺	☺
Denominação do ponto		☺	☺
Tabela de horários		☺	☺
Croquis de itinerários	☹	☺	☺
Relógio		☺	☺
Plano com rede de linhas			☺
Tarifas		☺	☺
Tipos de serviço			☺
Mapa da região adjacente			☺
<u>Equipamentos</u>			
Proteção para o tempo (cobertura, paredes laterais)		☺	☺
Iluminação			☺
Assentos			☺
Telefone público			☺
Depósito para lixo	☹	☺	☺
Caixa de correio			☺
Espaço para propaganda		☺	☺

Fonte: MERCEDES BENZ DO BRASIL (1987).

2.5 Sistemas de Informações aos Usuários

Os sistemas de informações são uma ferramenta de diálogo com o público. Permitem extrair do conjunto de informações relativas a uma rede, aquelas que correspondem a uma necessidade específica (por exemplo: tempo de espera) ou personalizada (por exemplo: itinerário de uma linha) e ainda podem garantir um aumento da qualidade do serviço oferecido ao passageiro (SILVA & LINDAU, 1997).

2.5.1 Principais Funções

Segundo CAR & PELLIS¹ (1995) apud SILVA & LINDAU (1997), os serviços de informações aos usuários do transporte coletivo têm as seguintes funções:

- Promocional – garantir mobilidade e melhorar a imagem do transporte público;
- Educacional – prestar informações sobre como utilizar o transporte público e as regras envolvidas no seu uso;
- Operacional – auxiliar no planejamento de viagens, melhorar acessibilidade e informar sobre alterações na programação;
- Moderação – aliviar as ansiedades dos usuários e aumentar o controle, por parte do usuário, sobre sua jornada.

2.5.2 Comunicação com o Público

As informações sobre o transporte público devem ser de fácil acesso à população. Elas podem ser afixadas nos pontos de parada, em painéis colocados em terminais,

¹ CAR, J.D.; PELLIS, S. (1995). User's Reactions to Infopoints: The Application of Touch Screen Technology to Passenger Information. In Proceedings of PTRC Summer Annual Meeting, London: PTRC, p. 73-85, apud SILVA, D.M.; LINDAU, L.A. (1997). Potencial dos Sistemas Avançados (APTS) no Transporte Coletivo Urbano por Ônibus. Anais do XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro, v1, p. 510-518.

através de folhetos ou ainda ser veiculada fora do sistema, como no caso do uso do rádio, do telefone e da televisão.

Uma informação importante é o destino de cada viagem realizada e o número da linha. Esta informação deve ser colocada na parte superior da frente dos veículos, num compartimento denominado de caixa de vistas ou caixa de itinerário. Outra informação comumente veiculada nos ônibus é o valor da tarifa vigente, em geral mediante adesivo colocado na parte inferior do vidro frontal. No interior dos veículos, na parte lateral superior é usual se colocar informações relativas aos itinerários, integrações com outras linhas ou modos, etc.

Nas estações e pontos de paradas devem ser colocados os nomes e os números das linhas que por ali passam, mapas simplificados com as rotas e os pontos de integração do sistema de transporte público, tarifas, etc. Nos terminais e estações mais importantes devem ser colocados mapas gerais do sistema de transporte público e balcões para informações verbais e distribuição de folhetos com informações impressas contendo os horários e mapas simplificados das rotas. A distribuição periódica de folhetos, contendo informações sobre horários e mapas das linhas, é de grande importância para usuários não cativos. Embora de menor relevância para os passageiros cativos, não deixa, no entanto, de ser útil e aumentar o conhecimento do sistema.

Os próprios motoristas, cobradores e fiscais devem ser treinados para prestar informações aos usuários quando solicitados. A disponibilidade de um número especial de telefone para informações e reclamações também é importante.

2.5.3 Aplicações

Nesta seção pretende-se mostrar algumas aplicações de sistemas de informações para usuários de transporte público que foram implantados ou estão em processo de implantação. Para isto recorreu-se a programas de consultas disponíveis em disquetes,

artigos internacionais e a uma pesquisa rápida realizada pela ANTP (1997b). Não é objetivo desta seção cobrir exaustivamente estas aplicações, apenas mostrar alguns sistemas que foram implementados com sucesso.

Na Europa, os serviços de informações aos usuários estão bastante difundidos. É o caso do *ARIdisc*, programa de computador que contém todos os detalhes requeridos para fazer uso de serviços domésticos de passageiros na Bélgica, via trem, ou daqueles serviços que conduzirão para os destinos principais da Europa. O *software* abrange dois módulos, a saber: horários e tarifas. No módulo de horários, o usuário poderá encontrar informações referentes à estação de partida, estação de chegada, a data da viagem e o tempo requerido da partida e da chegada. O programa oferece opções de escolha dentre as que se apresentam. Agora, se o usuário estiver interessado em saber o preço da viagem escolhida por ele, terá que optar pelo módulo de tarifas, onde encontrará informações referentes à passagens de ida e ida-volta, primeira ou segunda classes, a redução que o passageiro pode usufruir e a tarifa paga pela viagem ao se viajar sozinho ou acompanhado.

O trabalho desenvolvido por CHAPLEAU et al. (1996) apresentou o sistema conhecido como AUT – OBUS, que fornece, por telefone, aos passageiros escolhas de rotas ótimas na rede de transporte público da STCUM (Sociedade de Transporte da Comunidade Urbana de Montreal). Um Sistema de Informações Geográficas especial foi desenvolvido para processar as origens e destinos, tendo como base as especificações dos usuários. A determinação da melhor rota é calculada levando-se em consideração algumas funções de impedância, tais como: caminhada, tempo no veículo, espera, transferências, tarifas, etc. Também foi necessário levar em consideração a geometria da rede de transportes, a velocidade comercial, dias da semana ou finais de semana, o tempo de viagem, o *headway*, dentre outras informações necessárias. Para uma rede de transporte público do tamanho da de Montreal, constituída de 16.000 pontos de ônibus, 230 linhas de ônibus, e uma rede de pedestre de 80.000 *links* e 28.000 nós, o tempo de cálculo da rota ótima entre origem e destino fornecidos é menor do que 2 segundos com um típico computador pessoal com um processador *Pentium*.

No Brasil, já se tem conhecimento de alguns serviços de informações aos usuários. Isto pode ser percebido numa pesquisa realizada recentemente pela ANTP (1997b) junto aos órgãos gestores dos transportes públicos, sobre a disponibilidade de sistemas permanentes de informações aos usuários de ônibus e suas características. A pesquisa foi aplicada em 24 capitais, 9 regiões metropolitanas e o Distrito Federal, além de 42 cidades de médio porte em todas as regiões do Brasil.

Dos 34 questionários elaborados para a pesquisa e aplicados nas capitais e regiões, houve 23 respostas positivas sobre a existência de sistemas permanentes de informações aos usuários e 11 questionários não obtiveram respostas. Em 16 casos, os respondedores asseguraram a existência de um telefone a disposição dos usuários para informações básicas e outro para reclamações; e nos outros casos, apenas o telefone para reclamações. Com relação a existência de mapas e horários das linhas nos pontos de parada ou terminais, houve apenas 8 respostas positivas; em dois casos (região metropolitana do Recife e a cidade de João Pessoa), os respondedores afirmaram a existência de informações nos pontos e nos terminais e nos outros casos apenas nos terminais. Quanto a outros sistemas de informações, a cidade de Fortaleza disse distribuir panfletos quando novas linhas de ônibus são criadas e Belo Horizonte informou a existência de telefone para solicitar intervenção no transporte ou no trânsito.

No caso das cidades de médio porte foram enviados 42 questionários, dentre os quais houve 25 respostas positivas sobre a existência de sistemas permanentes de informações aos usuários de ônibus; 7 questionários apresentaram respostas negativas e 10 questionários não tiveram respostas. Em 16 casos, os respondedores disseram manter um telefone para informações básicas aos usuários e outro para reclamações; em sete casos, apenas o telefone para reclamações e em outros dois apenas o telefone de informações. Sobre a existência de mapas e tabelas de horários das linhas nos pontos, houve apenas cinco respostas positivas; em apenas um caso (Niterói – RJ), o respondedor disse que existem informações tanto nos pontos como nos terminais e, nos demais casos, ou nos pontos ou apenas nos terminais.

Com relação a outros sistemas de informações, Campinas – SP dispõe de atendimento em postos nos terminais; informações afixadas no interior dos ônibus podem ser encontradas em Juiz de Fora – MG; disponibilidade dos horários das linhas no terminal central em Novo Hamburgo – RS; caixa de sugestões em Ribeirão Preto – SP. Em implantação, podem ser citados: livro de bolso com itinerários e urna de sugestões (Santo André – SP) e itinerários e horários nos principais pontos de parada (Uberaba – MG).

3. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Neste capítulo faz-se um breve histórico dessa tecnologia; define-se, de maneira geral, o que é Sistema de Informações Geográficas e suas características; enumeram-se os principais componentes de um SIG; apresentam-se as técnicas de representação de um SIG; mostra-se o espaço que está sendo conquistado pelo SIG no planejamento urbano; faz-se um estudo do estado da arte das principais abordagens nos trabalhos já realizados nas diversas áreas da Engenharia de Transportes e, por último, introduz-se o software de SIG que será utilizado neste trabalho como ferramenta específica de análise de transporte.

3.1 Introdução

O primeiro Sistema de Informações Geográficas (SIG) surgiu no Canadá, na década de 60, e mostrava uma necessidade que as agências governamentais voltadas para o meio ambiente daquele país tinham, já àquela época, de mapear suas reservas naturais. Outro objetivo era efetuar múltiplas análises a respeito do seu meio ambiente como um todo, sendo necessário o processamento de uma grande quantidade de dados criados pelo inventário de terras canadense (CALIJURI & RÖHM, 1994). Em seguida foram desenvolvidos os sistemas de *New York Landuse and Natural Resources Information Systems* (1967) e *Minnesota Land Management Information System* (1969). A aplicação de tais sistemas limitou-se às agências federais e estaduais do governo americano e canadense, em virtude dos custos elevados e dos problemas de implementação (TEIXEIRA et al., 1992).

Segundo CÂMARA et al. (1996), na década de 70 desenvolveram-se fundamentos matemáticos voltados para a cartografia. Surgiu, então, a topologia aplicada, permitindo análises espaciais entre dados cartográficos. Até então, somente grandes organizações tinham o privilégio de utilizar SIGs em sistemas de grande porte. Na década de 80, com a popularização e barateamento das estações de trabalho, computadores pessoais e bancos de dados, o uso de SIG foi difundido com a incorporação de muitas funções de análise espacial.

Acrescentam CÂMARA et al. (1996) que, para o final da década de 90, pode-se prever o surgimento de uma nova geração de SIGs, baseada em bibliotecas digitais geográficas ou centros de dados geográficos, caracterizada pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso através de redes locais e remotas, públicas ou privadas. A nova geração pode ainda ser vista como o desenvolvimento de sistemas orientados à troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade.

3.2 Definições e Características

Um Sistema de Informações Geográficas pode ser definido como sendo “uma coleção organizada de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal, projetado para, eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações referenciadas geograficamente” (CALIJURI & RÖHM, 1994).

Para uma melhor compreensão da definição citada acima, pode-se considerar o SIG como um tipo de Sistema de Informação, que envolve, de forma sistêmica e interativa, tecnologia, banco de dados e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georeferenciados para obtenção de novas informações (DANTAS et al., 1996). A figura 3.1 ilustra a interação dos quatro elementos mencionados anteriormente.

FIGURA 3.1 – Elementos de um Sistema de Informações Geográficas.

Fonte: DANTAS et al. (1996).

Cabe aqui destacar a importância da topologia na concepção de um SIG. A topologia é a relação espacial entre objetos. Por exemplo: para encontrar a rota ótima entre dois pontos é necessário que exista uma lista de arcos conectados.

Segundo RAMALHO & CALIJURI (1994), as principais características de um Sistema de Informações Geográficas são:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, entre outros;
- Combinar as várias informações, para gerar mapeamentos derivados; e
- Consultar, recuperar, manipular, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados.

Esta característica de integrar, numa única base de dados, informações geográficas provenientes de dados, permite ao SIG, por exemplo, produzir mapas temáticos que refletem as informações associadas às entidades representadas. A

figura 3.2 representa um mapa temático produzido por um SIG. Neste exemplo, as linhas de ônibus foram diferenciadas através de cores de acordo com o *headway* (intervalo entre veículos) predominante em cada uma delas.

FIGURA 3.2 – Mapa temático gerado por um SIG.

3.3 Componentes de um SIG

Para TEIXEIRA et al. (1992), um SIG pode ser visto como um sistema composto por um banco de dados, por um conjunto de programas (*software*) dedicados à execução de operações sobre os dados e equipamentos (*hardware*).

O banco de dados constitui a parte essencial da composição de um SIG. Estes dados são constituídos de uma coleção de mapas e informações digitais relacionados às feições da superfície terrestre, sendo o SIG composto por dois elementos: um banco de dados espaciais, que descreve as características da superfície do terreno (forma e posição) e um banco de dados de atributos, que descreve as qualidades destas características (CALIJURI & RÖHM, 1994).

O banco de dados é composto por programas que gerenciam os dados, ou seja, organizam os mesmos com o objetivo de agilizar a procura para aplicações das operações espaciais. Estes programas permitem manusear dados, atualizá-los ou alterá-los, acrescentar outras informações, trabalhar com parte delas em função do problema em questão. No caso específico do planejamento de transportes, as informações tipicamente necessárias são, segundo KAGAN et al. (1992):

- Dados socio-econômicos e demográficos de população (habitantes, empregos, renda, produção industrial e agrícola, etc.);
- Dados sobre características do uso e ocupação do solo;
- Dados descrevendo a oferta de transportes;
- Dados sobre a demanda por transportes.

O gerenciamento do banco de dados é a principal qualidade dos SIGs, pois é através desta capacidade do sistema que a interação do usuário com as informações é permitida. Como dizem CALIJURI & RÖHM (1994): “O cerne do sistema é o banco de dados que, em síntese, é uma coleção de mapas e de informações associadas na forma digital”.

Segundo TEIXEIRA et al. (1992), os operadores espaciais são um conjunto de programas que atuam sobre a base de dados, produzindo as informações

requeridas pelos usuários. As funções dos operadores podem ser divididas em pré-processamento e processamento digital.

As funções de pré-processamento permitem alterar os dados como um todo para atingir os seguintes objetivos:

- Conversão entre tipos de arquivos;
- Mudança de escala;
- Mudança de estrutura (*raster* – vetorial);
- Mudança de projeção cartográfica;
- União de bases de dados; entre outros.

Já as funções de processamento visam extrair informações da base de dados ou criar novas informações de acordo com as necessidades dos usuários. Entre estas funções destacam-se:

- Atualização de dados;
- Cálculo de áreas;
- Cálculo de distâncias (menor distância entre dois pontos, rota mais curta ou mais rápida);
- Cálculo de perímetro;
- Cálculos estatísticos;
- Classificação dos dados;
- Cruzamento entre planos;
- Filtragens espaciais;
- Localização de uma entidade e listagem de seus atributos;
- Operações aritméticas entre planos;
- Posicionamento, etc.

Outro aspecto importante é o *hardware*. Os SIGs podem operar em microcomputadores, *Workstations*, minicomputadores e *mainframes*.

O componente *hardware* se constitui de todos os equipamentos necessários para desempenhar a função de coleta de dados na forma digital, processamento e

apresentação das informações. De maneira geral, a maioria dos sistemas admite vários periféricos, sendo os mais comuns: mesa digitalizadora, *mouse*, vídeo colorido, impressoras e *plotters*. Os principais equipamentos periféricos utilizados em SIGs são os seguintes:

- Entrada de dados:
 - Teclado: Entrada de atributos, comunicação com o usuário;
 - *Mouse*: Comunicação do usuário com o *software*;
 - Mesa digitalizadora: Entrada de dados gráficos, comunicação do usuário com o *software*;
 - *Scanner*: Entrada de dados gráficos;
 - Restituidores: Integração com fotointerpretação;
 - Câmeras de vídeo: Entrada de dados gráficos.
- Armazenamento:
 - Discos flexíveis: Armazenamento temporário ou permanente de dados de acordo com a capacidade;
 - Unidades de fita: Armazenamento de grande quantidade de dados, geralmente por longo períodos;
 - Disco rígido: Armazenamento, para acesso rápido, de dados e programas.
- Saída:
 - Monitores de vídeo: Apresentação temporária dos dados gráficos e numéricos, comunicação com o sistema;
 - *Plotters* e impressoras: Apresentação dos dados gráficos, relatórios e tabelas.

Segundo SILVA et al. (1994), para a utilização de Sistema de Informações Geográficas como ferramenta de planejamento, deve-se estabelecer, inicialmente, o domínio espacial do problema, ou seja, deve-se definir os dados (entes e atributos) necessários ao estudo, sua forma de mensuração e as fontes de dados, que podem ser:

- Fontes primárias – obtidas diretamente do mundo real através de:

- Levantamentos de campo (topográficos, geodésicos, cadastrais, etc.);
 - Produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens orbitais);
 - Recenseamentos;
 - Videos.
- Fontes secundárias – desenvolvidas a partir de fontes primárias:
 - Mapas.

Para serem introduzidos nos computadores, os dados sofrem processo de codificação e de digitalização (via mesa digitalizadora, teclado, *scanner*, etc.). Esta fase é uma das mais importantes do trabalho, pois nela se estabelece a qualidade, precisão (nível de resolução) e confiabilidade do produto final. Define-se nesta etapa a viabilidade operacional do sistema, em função do volume de dados, do tempo e da capacidade do equipamento disponível.

As mesas digitalizadoras são dispositivos de entrada que possuem sob sua superfície de trabalho uma rede magnetizada, que envia para o computador as coordenadas x e y de um cursor (*mouse*) movimentado pelo usuário. A digitalização de mesa ainda é o modo mais utilizado para a entrada de dados a partir de mapas existentes. É um processo usualmente caro e demorado, envolvendo os passos de digitalização de linhas, ajuste de nós, geração de topologia e rotulação (identificação) de cada dado geográfico. O teclado permite a entrada de atributos e a comunicação com o usuário. A digitalização ótica por instrumentos de varredura (*scanners*) vem sendo utilizada de forma cada vez mais intensa. A escolha pelo uso destes equipamentos está relacionada à rapidez pela qual a geometria do mapa é capturada e ao custo.

3.4 Estruturas de dados

Existem duas técnicas fundamentais de representação de dados gráficos em um SIG: *raster* e *vector* ou vetorial.

O modelo vetorial se caracteriza pela locação precisa dos objetos geográficos através de coordenadas, sendo os objetos representados por pontos, linhas ou polígonos. O formato *vector* tem como principais vantagens a sua excelente precisão matemática, fazendo com que os contornos dos objetos sejam bem definidos, e a economia de espaço para armazenamento de informações. Estas qualidades do formato *vector* o tornam mais recomendável para o uso na área de cartografia. Seu principal ponto fraco é ser menos eficiente em promover operações algébricas e sobreposição de mapas, o que pode ser feito de maneira bastante rápida na estrutura *raster*.

No formato *raster*, o espaço geográfico é dividido segundo um sistema de células retangulares, normalmente quadradas, sendo o conteúdo de cada célula descrito pelo banco de dados. Isto significa que a informação geográfica contínua no espaço é discretizada, perdendo em exatidão e detalhes, mas ganhando em facilidade de manipulação no ambiente computacional, uma vez que a estrutura de armazenamento dos dados por matrizes é adequada a estrutura da matemática computacional. Além disso, como as imagens de sensoriamento remoto utilizam também a forma matricial para armazenamento de dados, sua interação com sistemas desse tipo é perfeitamente viável. No entanto, esta facilidade impede a representação adequada de elementos geográficos menos homogêneos, como rodovias, infraestrutura de água, esgoto, rede elétrica, telefônica, etc.

A diferença básica entre as estruturas *raster* e *vector* reside no modelo de espaço adotado em cada uma. Enquanto a estrutura *vector* considera o espaço contínuo, seguindo postulados da Geometria Euclidiana, a estrutura *raster* divide o espaço em elementos discretos. A figura 3.3 mostra as estruturas *raster* e *vector*, obtidas a partir de um mapa original.

As grandes desvantagens do modelo *raster* são o tamanho dos arquivos gerados, tornando inviável sua utilização para áreas extensas, e a baixa capacidade de trabalho com banco de dados do tipo relacional para representação espacial dos atributos adicionais, uma vez que a associação de atributos acontece somente a classes do mapa. No entanto, o desenvolvimento desses tipos de *software* está caminhando para dar maior suporte a integração de banco de dados relacional.

Devido à afinidade entre a lógica da representação vetorial e a tradicional produção de mapas, os sistemas vector são muito populares em aplicações municipais, garantindo a produção de mapas e, predominantemente, o gerenciamento de banco de dados.

FIGURA 3.3 – Estrutura *raster* e *vector*.

Fonte: ROSA (1989) apud TEIXEIRA et al. (1992).

3.5 Modelos de Utilização de SIGs

Segundo DANGERMOND² (1990) apud CALIJURI & RÖHM (1994), as justificativas para a utilização de SIGs são:

- Os dados são mantidos em um formato fisicamente compactado (arquivos magnéticos);
- Os dados podem ser mantidos e extraídos a um custo menor por unidade de dado manipulada;
- Os dados podem ser acessados a uma velocidade muito maior;
- As ferramentas computacionais permitem maior flexibilidade de manipulação, incluindo medidas e sobreposição de mapas, transformações, gráficos diversos e gerenciamento de banco de dados;
- As informações gráficas e não gráficas (atributos) podem ser fundidas e manipuladas, simultaneamente, de maneira relacionada;
- Podem ser realizados testes analíticos de modelos conceituais de modo rápido e preciso (por exemplo, susceptibilidade do solo à erosão, capacidade de suporte do solo, etc.), facilitando avaliações científicas e técnicas em grandes áreas, em curto período de tempo;
- As análises de mudanças podem ser efetuadas em dois ou mais períodos de tempo;
- As ferramentas de desenhos gráficos interativos e automatizados podem ser aplicadas no desenvolvimento de mapas e de desenho cartográfico; e
- Certos tipos de análises podem ser realizadas muito mais eficientemente em termos de tempo e custos do que se efetuadas manualmente (por exemplo: modelos digitais do terreno, cálculos de declividade e bacias de drenagem, sobreposição de múltiplos conjuntos de mapas contendo polígonos complexos, etc.).

² DANGERMOND, J. (1990). A Classification of Software Components Commonly Used in Geographic Information Systems. In: *Introductory Readings in Geographic Information Systems*. Peuquet, D.J.; Marble, D.F. eds, p. 30-51, apud CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A. (1994). *Sistemas de Informações Geográficas*. Universidade Federal de Viçosa - Imprensa Universitária, p. 5-34.

A implantação de um SIG não é uma tarefa fácil, principalmente, se levados em consideração os custos envolvidos com a aquisição de dados e treinamento de pessoal. DE MAN³ (1988) apud LEIPNIK et al. (1993) identificou como fases de implementação de um SIG: estudos de viabilidade, para dar apoio a decisão de implantação ou não do sistema; seleção de *software*, *hardware* e periféricos; instalação do sistema; treinamento; conversão de dados; desenvolvimento de bancos de dados e por último, a geração dos primeiros produtos. Diante da variedade de *software* disponíveis no mercado, é imprescindível que o possível usuário tenha suas metas bem definidas, de forma a garantir a escolha ideal de um *software* de SIG para as análises desejadas.

Quando um SIG é adquirido como parte de um projeto específico, com objetivos limitados, normalmente a versatilidade e capacidade de geração de informações do SIG não são suficientemente exploradas e o usuário acaba por não ter um bom retorno do investimento. Nesse sentido, tem-se sempre que ter em mente que as possibilidades de aplicações de SIG em projetos de planejamento são bastante variadas, devendo ser exploradas ao máximo. E mais, é essencial que se entenda que o SIG é um meio, uma ferramenta, e não um fim. A determinação das metas a serem atingidas, às quais o SIG deverá dar suporte, precede a sua implantação. FERRARI (1996) comenta: "SIGs devem ser considerados como ferramentas que auxiliam a organização a cumprir sua missão fundamental e atingir suas metas estratégicas de curto e longo prazo."

Ao analisar o uso de Sistema de Informações Geográficas, FERRARI (1997) classifica as atividades de uma organização em três níveis: operacional, gerencial e estratégico. A utilização de SIG no nível operacional deve ter por objetivo reduzir os custos de operação de atividades que implicam em grandes esforços manuais, automatizando-as, como por exemplo: manutenção do mapa base sob forma digital; uso do mapa digital no suporte ao projeto e execução de obras de engenharia;

³ DE MAN, W.H.E. (1988). Establishing a Geographical Information System in Relation to its Use: A process of Strategic Choices. *Int. J. Geographic Information Systems*, n 2, p. 245-261, apud LEIPNIK, M.R.; KEMP, K.K.; LOAICIGA, H.A. (1993). Implementation of GIS for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 119, n 2, p. 184-205.

manutenção do cadastro imobiliário; suporte a emissão de guias e alvarás e gerenciamento de redes de infra-estrutura.

No nível gerencial, o objetivo principal é servir de apoio a melhores tomadas de decisões por parte da organização. Dessa forma, as administrações municipais devem ser beneficiadas por uma maior eficiência nas decisões de planejamento e gerenciamento urbano. Aqui o SIG é utilizado como ferramenta de análise espacial e locacional, para a modelagem e simulação de situações, apoiando aplicações do tipo: fornecimento de subsídios à elaboração da política de uso e ocupação do solo; planejamento e gerenciamento de equipamento e serviços urbanos: locação de novos equipamentos, avaliação do sistema de transporte coletivo ou de coleta de lixo; alocação de recursos públicos e monitoramento ambiental.

No nível estratégico, as finalidades são dirigidas a estratégia comercial da administração, como por exemplo: a melhoria da imagem da administração perante outros órgãos públicos e perante a população, demonstrando maior eficiência nos serviços prestados. Os SIGs podem ser usados para dar suporte em todos os três níveis. Porém, como a natureza das atividades é diferente, também serão diferentes os benefícios oriundos da utilização de SIGs em cada um desses níveis de atividades (FERRARI, 1997).

Os SIGs também podem ser usados servindo diretamente à sociedade, ou seja, oferecendo melhores serviços à população, melhor qualidade de vida e participações da sociedade em decisões. O SIG é considerado como uma ferramenta de apoio. Um SIG não tem a capacidade de resolver nada sozinho; não toma decisões e nem reduz custos. SIGs viabilizam projetos, facilitam o trabalho, fornecem suporte à decisões.

Conclui-se que a sua aplicação na área de planejamento urbano é a mais variada possível, podendo atuar no sistema de transportes, redes de distribuição de água e coleta de esgoto, uso e ocupação do solo, cadastro imobiliário, e outros.

A tabela 3.1 compara os modelos de utilização de SIGs apresentados anteriormente e estabelece um relacionamento entre usos e benefícios. Quais são os benefícios que podem ser esperados do uso de SIGs em apoio as atividades do nível

operacional? Eficiência operacional: ganho em produtividade, redução de custos e qualidade na execução de tarefas. Quais são os benefícios que podem ser esperados do uso de SIGs em atividades do nível gerencial? Eficácia administrativa: melhor planejamento e gerenciamento, melhores decisões de caráter tático e assim por diante.

Vale ressaltar que os benefícios apresentados na tabela a seguir são os benefícios imediatos. Exemplificando, o benefício imediato do uso de SIGs no nível operacional é a eficiência operacional, ou seja, ganho em produtividade, redução ou eliminação de custos e qualidade da execução de tarefas. Outros benefícios poderão surgir com o tempo, mas estes serão uma consequência do benefício imediato.

TABELA 3.1 – Modelos de utilização de SIGs e seus benefícios imediatos.

Tipos de Uso (suporte à...)	Benefício Imediato	Caracterização dos Benefícios
Atividades do nível operacional	Eficiência operacional	<ul style="list-style-type: none"> – Ganho em produtividade – Redução de custos – Qualidade da execução de tarefas
Atividades do nível gerencial	Eficácia administrativa	<ul style="list-style-type: none"> – Melhor planejamento e gerenciamento – Melhores decisões de caráter tático (como na alocação de recursos)
Atividades do nível estratégico	Avanço estratégico	<ul style="list-style-type: none"> – Melhoria da imagem junto aos clientes e parceiros – Compartilhamento de custos – Novas fontes de receita, aumento de receita
Projetos sociais	Avanço social e estratégico	<ul style="list-style-type: none"> – Melhores serviços prestados à população – Participação da sociedade em decisões – Melhoria da imagem da administração pública

Fonte: FERRARI (1997).

3.6 Os Sistemas de Informações Geográficas e a Engenharia de Transportes no Brasil

Os SIGs vêm sendo utilizados de forma cada vez mais promissora, nas mais diferentes áreas de aplicação, inclusive a Engenharia de Transportes. Dentre as diversas aplicações em transportes podem ser citadas: projeto geométrico de vias, projeto de terraplenagem, monitoramento e controle de tráfego, oferta e demanda de transportes, prevenção de acidentes, otimização de rotas, monitoramento e controle de operações rodoviárias, monitoramento de unidades móveis, dentre outras (VIVIANI et al., 1994; SILVA et al., 1994).

Para traçar uma linha evolutiva, alguns trabalhos foram selecionados e analisados nos principais congressos, simpósios, seminários e revistas que abordam a questão dos transportes no Brasil. A ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, principalmente através de seus congressos anuais, tem contribuído bastante para a divulgação do assunto no país.

Um dos primeiros trabalhos em SIG-T publicados no Brasil foi, segundo SILVA (1995), o de KAGAN et al. (1992). O objetivo principal deste trabalho era discutir a potencialidade de um SIG no planejamento de transportes.

NOVAES & ROSSETO (1993) apresentaram um método de dimensionamento e localização de depósitos de distribuição numa determinada região. Já MARTINS & IVERSSON (1993) mostraram o processo de conversão das bases cartográficas existentes para o formato digital, complementadas por informações alfa-numéricas de diversas fontes, formando uma importante base de dados.

PIMENTEL & SALGADO (1994) apresentaram uma visão geral sobre Sistema de Informações Geográficas, evolução computacional, ponto de vista dos usuários finais e um exemplo de aplicação na Engenharia de Tráfego. FERREIRA et al. (1994) desenvolveram uma metodologia para o planejamento da rede de transportes coletivos urbanos por ônibus, por meio da fotointerpretação de imagens de satélite e de modelos matemáticos para obter rotas para o transporte público.

Outros dois trabalhos procuraram tratar do problema da adaptação de SIG para gerenciamento e operação de sistema de transporte coletivo (NASSI et al., 1994; SIQUEIRA & CASSUNDÉ, 1994).

VIVIANI et al. (1994) analisaram as potencialidades dos SIGs e discutiram a viabilidade do uso desses sistemas no desenvolvimento de um processo de gerenciamento de vias não pavimentadas, especificamente de estradas municipais. SILVA et al. (1994) destacaram a importância da utilização de SIGs no planejamento e reestruturação de sistemas de transporte público urbano. ROSSETO & CUNHA (1994) enfocaram a utilização de um *software* de SIG, denominado, GisPlus, na roteirização de veículos para a distribuição de carga. ALENCAR & AQUINO (1994) apresentaram um sistema denominado SIGTRANS, desenvolvido a partir de um *software* do tipo CAD, de um banco de dados e de um sistema de controle para o planejamento de rotas de transporte coletivo. DAVIS & FONSECA (1994) apresentaram o Geoprocessamento em Belo Horizonte em sua perspectiva histórica, evolução, objetivos e disseminação. Algumas das aplicações já realizadas foram mostradas, com destaque para o sistema de transporte coletivo.

O trabalho de ANDRADE & MENDES (1995) fez uma abordagem ao sistema informatizado de planejamento de transportes para o plano multimodal de transportes do Estado de Minas Gerais. SILVA et al. (1995) apresentaram uma aplicação de um SIG na avaliação dos impactos sobre os sistemas de transporte público e do crescimento urbano e desorganizado ocorrido na cidade de Araraquara – SP. Os autores concluíram que os SIGs podem representar um ferramenta de grande valia para planejamento de cidades em países em desenvolvimento que sofrem um processo intenso de urbanização e ao desenvolvimento dos diversos setores (econômico, social e político) que as compõe. SILVA & KAWAMOTO (1995) utilizaram um *software* de SIG, denominado TransCAD, para avaliar o desempenho de um sistema de transporte público na cidade de São José do Rio Pardo – SP, caracterizada como uma cidade de pequeno porte.

Uma importante contribuição à comunidade científica encontra-se presente no trabalho de SILVA (1995) que apresentou uma visão geral do uso de Sistema de Informações Geográficas em atividades ligadas à Engenharia de Transportes no

Brasil (SIG-T). O autor fez uma retrospectiva dos principais trabalhos sobre o tema no país, mostrando a evolução, desde as primeiras sugestões de uso até os projetos em andamento, culminando com as perspectivas para o futuro.

ZUPPO et al. (1996) descreveram a criação do sistema geográfico de transporte e trânsito, com especial destaque para a modelagem de dados, formação da base de dados e aplicações. O trabalho de NASSI et al. (1996) visou a elaboração e desenvolvimento de um programa de consulta de itinerários, tendo sido executado um programa específico para este fim. Alguns aspectos de análise espacial foram observados nos trabalhos de DANTAS et al., (1996); TACO et al., (1996); BARTOLLI et al., (1996). Já LOUREIRO & RALSTON (1996) utilizaram o SIG como plataforma para modelos de análise de redes de transporte.

DAVIS (1997) apresentou o algoritmo do caminho mínimo usado para aplicações em problemas de roteamento urbano. OLIVEIRA & RIBEIRO (1997) propuseram um sistema que utiliza SIG-T na produção de planos de sincronismo empregando o TRANSYT. PINTO & LINDAU (1997) relataram a experiência de montar um cadastro de linhas de ônibus intermunicipais usando um SIG. MARQUES & SILVA (1997) propuseram a implantação de um sistema de consulta por telefone para usuários de transporte coletivo, oferecendo informações desde a localização dos pontos de parada de ônibus até a determinação de rotas ótimas, via ônibus, entre dois pontos quaisquer informados pelos passageiros.

Após muitos anos de pesquisas e inovações tecnológicas, os SIGs têm apresentado um acentuado aumento de sua taxa de adoção, pois representam uma tecnologia que oferece ferramental operacional, que auxilia e agiliza os procedimentos de planejamento, gerenciamento e de tomadas de decisão. Além disso, constituem uma tecnologia computacional relativamente nova, que está revolucionando a forma com que os complexos problemas de transportes podem ser analisados. Os estudos realizados até o momento não deixam dúvidas que esses programas podem ser ferramentas extremamente úteis no planejamento de transportes.

3.7 O *software* TransCAD

A revisão na literatura foi realizada com o objetivo de guiar a escolha de um *software* de SIG, a ser utilizado neste trabalho. Os critérios utilizados para esta escolha foram baseados nas seguintes características:

- Ampla aplicação em transportes no Brasil e no mundo;
- Simples, não exigindo equipamentos muito sofisticados e de preferência apropriado para se trabalhar na plataforma PC;
- Disponibilidade;
- Versátil na integração com outros *software*;
- E, de preferência, que já estivesse sendo utilizado em trabalhos envolvendo planejamento de transporte público.

Pautados nestas considerações, optou-se pela escolha do *software TransCAD for Windows*, desenvolvido pela *Caliper Corporation*. Segundo o fabricante, o *software* utilizado, ao reunir os recursos de um SIG e várias ferramentas de planejamento de transporte, pode fornecer aos usuários amplo acesso à base de dados geográficos e de transporte, com a possibilidade de combinar estes elementos de diferentes maneiras (SILVA et al., 1994). Estas características o tornam uma ótima opção para trabalhar com estudos relacionados ao planejamento de transportes, como por exemplo na reestruturação de sistemas de transporte público urbano. SILVA et al. (1994) utilizaram o TransCAD, como ferramenta, para realizar estudos no planejamento e reestruturação de sistemas de transporte público urbano. Concluíram que esse programa pode ser uma ferramenta extremamente valiosa na reestruturação de sistemas existentes, bem como no planejamento de novos sistemas.

O *software* TransCAD, atualmente em sua terceira versão (para *Windows*), foi um dos primeiros pacotes de SIG-T desenvolvidos especialmente para serem utilizados como uma “ferramenta de planejamento, gerência, operação e análise de sistemas de transporte, incorporando, além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas para solução de problemas de logística, pesquisa operacional e de

transporte em geral. Estas rotinas permitem aos usuários aplicar não só funções básicas de análise de redes, tais como: determinar a rota de menor impedância entre nós e distribuir viagens entre zonas, como também resolver problemas convencionais de roteamento e escalonamento de veículos, localização de instalações, alocação de recursos em redes, alocação de tráfego, dentre outros” (LOUREIRO & RALSTON, 1996).

Outra grande vantagem do TransCAD, essencial para viabilizar a construção de interfaces de SIG com modelos externos, especialmente quando se deseja automatizar ou simplificar tarefas e facilitar a operação ao usuário, refere-se à sua linguagem macro de programação, que permite aos usuários desenvolverem suas próprias rotinas, em qualquer outra linguagem, integrando-as à caixa de ferramentas do pacote, aumentando consideravelmente seu potencial analítico. A versão 3.0 do TransCAD abrange um kit de desenvolvimento, denominado GISDK (*Geographic Information System Developer's Kit*), que inclui uma poderosa linguagem macro de programação – *Caliper Script*. Esta permite a construção de interfaces personalizadas para o TransCAD, tornando-o adequado a diferentes aplicações. Ela também possibilita a construção de rotinas para troca de dados com programas externos (OLIVEIRA, 1997; LOUREIRO & RALSTON, 1996).

4. METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se detalhadamente a metodologia empregada neste trabalho para a montagem do sistema de consulta de itinerários, desde o aprendizado do software até o processamento dos dados.

4.1 Introdução

A metodologia foi elaborada tendo como ponto de apoio e fundamentação o Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma vez que este tem se mostrado uma ferramenta poderosa, que auxilia e agiliza os procedimentos de planejamento, gerenciamento e de tomadas de decisão.

Um SIG armazena, analisa e manipula dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (CÂMARA et al., 1996). O *software* escolhido foi o TransCAD, que segue o conceito de SIG descrito anteriormente, desenvolvido especialmente para aplicações em transportes, cujo uso dependerá dos estudos a serem realizados.

Inicialmente será feita uma apresentação do funcionamento do sistema de consulta de itinerários, desde a localização da origem e destino informados pelo passageiro até a descrição do itinerário completo para informações por telefone. A

seguir, será feita uma descrição das etapas da metodologia empregada, e por último, um sumário das atividades desenvolvidas.

4.2 Funcionamento do Atendimento a Consultas

O processamento do atendimento a consultas de itinerários será feito de acordo com o fluxograma mostrado na figura 4.1, tendo sido baseado no trabalho desenvolvido por ZUPPO et al. (1996) em Belo Horizonte. Cada etapa será descrita a seguir.

FIGURA 4.1 – Fluxograma de processamento de consultas.

Fonte: Adaptado de ZUPPO et al. (1996).

1. Registro da Chamada Telefônica

Inicia-se com a conversação telefônica entre o passageiro e o operador do sistema de consulta de itinerários.

2. Localizar Origem e Destino Informados pelo Passageiro

Parte-se do princípio que o passageiro poderá informar a sua localização através das seguintes maneiras:

- Endereço completo (logradouro-número-bairro);
- Cruzamento de vias;
- Trecho (logradouro entre logradouros);
- Ponto de referência (escola, *shopping center*, hospital, agência bancária, etc.).

Os pontos de referência abrangerão a localização geográfica de diversos marcos da cidade, ou seja, elementos de reconhecimento simples e imediato. A princípio serão adotadas as seguintes categorias:

- Escola (pública, particular, universidade);
- Hospital (centro de saúde, pronto socorro);
- Unidade da polícia (militar, civil, federal);
- Agência de atendimento (postos de serviços integrados urbanos, correios, concessionárias, prefeitura);
- Cartório;
- Terminal de transportes (aeroporto, rodoviária, ferroviária);
- *Shopping center* (loja de departamentos);
- Mercado (central, distrital, supermercado);

- Atração turística ou cultural (bar, restaurante, casa noturna, teatro, cinema, museu, biblioteca);
- Templo;
- Cemitério;
- Clube recreativo;
- Área de lazer (zoológico, parque, lagoa, mirante, horto florestal);
- Esporte (estádio, ginásio, praça de esportes, jôquei);
- Hospedagem (hotel, motel, apart-hotel);
- Prédio público (repartição municipal/estadual/federal, estatal);
- Agência bancária.

3. Determinar Linhas que Atendem à Origem e ao Destino

Tendo a localização geográfica da origem e do destino do passageiro, o sistema localizará os pontos de parada mais próximos do embarque e desembarque com base em critérios geográficos. Para isto é necessário definir o raio da pesquisa, ou seja, considerar os pontos de parada situados a menos de x metros da origem e do destino.

4. Verificar a Possibilidade da Viagem ser Realizada em uma Linha

Inicialmente será investigada a possibilidade da viagem ser realizada em uma linha. Caso isto aconteça, o processamento prosseguirá para o passo 6; caso contrário, prosseguirá para o passo 5.

5. Combinar as Linhas que Atendem à Origem e ao Destino

Caso não seja possível realizar a viagem em apenas uma linha, será necessário fazer uma combinação entre as linhas que servem à origem e ao destino. O sistema determinará o ponto de embarque em cada linha, o número de paradas durante o percurso e o ponto de desembarque em cada linha.

6. Descrição do Itinerário Completo por Telefone

O resultado final da consulta será apresentado para o operador e deverá ser lido e explicado ao passageiro, por telefone, sobre como proceder para realizar a viagem. Esta saída poderá conter informações sobre o custo total generalizado de viagem entre cada origem e destino, a tarifa paga, o número de transferências, o tempo esperando para embarcar nos ônibus, as características do menor caminho para cada atributo de rede e instruções para realizar a viagem.

Uma aplicação prática do sistema, aqui descrito, será mostrada no próximo capítulo, assim como alguns comentários sobre o mesmo.

4.3 Etapas da Metodologia Empregada

Todo potencial das aplicações é precedido de várias etapas consideradas volumosas e trabalhosas, principalmente pelo processo de aquisição do *know-how* e aprendizado do *software*. Para cumprir estas etapas, foram desenvolvidos os seguintes procedimentos, apresentados a seguir:

4.3.1 Aprendizado do *Software*

Nesta etapa buscou-se uma familiarização com o programa, estudando suas potencialidades e limitações através de um pacote de auto-instrução desenvolvido por SILVA & WAERDEN (1997). Este tutorial consiste de 10 capítulos (figura 4.2). Os primeiros três capítulos abordam a criação e administração de diferentes tipos de bases de dados (pontos, linhas e áreas). Trabalhando com estes dados tem-se o primeiro contato com algumas ferramentas básicas de um SIG, como mudança de estilos de mapa, mudanças de escala, legenda e criação de arquivos geográficos (para o armazenamento de locações, formas e atributos). Além disso, começa-se a perceber a diferença entre arquivos geográficos e mapas, como trabalhar com camadas (*layers*), modificar bases de dados, exibir e ocultar camadas (SILVA et al., 1997).

A segunda parte, dividida em cinco capítulos, apresenta ferramentas mais sofisticadas de SIG e sugere algumas análises com essas ferramentas. No capítulo 4 são mostrados diferentes modos para se criar um mapa temático. Em seguida, no capítulo 5, são apresentadas diferentes bases de dados associadas a um mapa. No capítulo 6 são descritos diferentes métodos de seleção de dados (seleção por pontos, círculos, forma, condição) e como exibir, ocultar e desfazer seleções. A análise espacial é abordada no capítulo 7, onde tem-se noção de como agregar informações espaciais. A confecção de mapas é mencionada no capítulo 8. Devido a grande capacidade dos mapas de apresentar informações, são mostradas maneiras de se alterar os estilos dos mapas, como caracterizar objetos no espaço (manual e automaticamente), como editar legendas e como adicionar desenhos à mão livre a um mapa (SILVA et al., 1997).

Os dois últimos capítulos apresentam ferramentas específicas que são muito usadas em planejamento de transportes. No capítulo 9 são mostradas operações básicas no tratamento de matrizes, como criação, edição e apresentação de resultados em mapas. Finalmente, o último capítulo trata de análise de redes. Numa base de dados de linhas, aprende-se a criar uma rede de transportes, onde é possível fazer análises, por exemplo, de menor caminho (SILVA et al., 1997).

FIGURA 4.2 – Descrição dos capítulos do tutorial para o *software* TransCAD 3.0.

Fonte: SILVA et al. (1997).

4.3.2 Coleta de Dados

Os dados sobre a área de estudo foram coletados de acordo com as exigências do programa escolhido e as informações disponíveis. O programa exige uma gama muito grande de informações, as quais podem ser classificadas, dependendo do formato em que são adquiridas e trabalhadas no SIG, em:

- Dados geográficos: são aqueles essencialmente espaciais. São eles: sistema viário, itinerários, pontos de parada, etc.
- Atributos: constituem dados de caráter quantitativo e qualitativo e que podem estar associados a um objeto espacial. O banco de dados alfa-numérico

correspondente às vias da cidade pode conter algumas informações fundamentais para o planejamento de transportes, tais como: tipo de pavimentação, declividade, largura da via, existência de estacionamentos na via, obstáculos, etc. (SILVA et al., 1994). No caso do sistema de transporte coletivo, correspondem às tarifas, horários disponíveis, frequência do serviço, características dos pontos de parada de ônibus, etc.

a) Coleta de dados geográficos

As informações relativas ao sistema viário foram obtidas em planta da prefeitura, em escala 1:10.000, com base em levantamento aerofotogramétrico de 1988 e restituição em 1989. Os itinerários das linhas de ônibus foram fornecidos gentilmente pela empresa Renascença, que opera o sistema na cidade de São Carlos. Algumas informações, como a localização dos pontos de parada de ônibus, tiveram que ser levantadas em campo, uma vez que não existia um mapa com a localização dos mesmos, nem mesmo na empresa operadora. Foram percorridos, em um veículo particular, aproximadamente 450 km do sistema viário e levantados todos os pontos de parada do sistema de transporte coletivo.

A principal dificuldade encontrada foi a inexistência de qualquer tipo de identificação de pontos de ônibus nas áreas mais periféricas da cidade. Isto acarretou um aumento no tempo de coleta de dados, pois era necessário pedir informações a moradores. Vale ressaltar que seria desejável que a cidade adotasse um padrão de ponto de parada e que o mesmo se estendesse às regiões periféricas, não se limitando o tratamento apenas aos pontos localizados na região central.

b) Coleta de dados de atributos não espaciais

Assim como os dados geográficos, os nomes dos logradouros foram obtidos através de plantas da cidade de São Carlos, também na escala de 1:10.000. Já os dados referentes ao sistema de transporte coletivo por ônibus foram também obtidos através da empresa operadora.

4.3.3 Hardware Usado

Os equipamentos disponíveis para o perfeito desempenho das funções de digitalização dos dados, processamento de dados e apresentação das informações foram, respectivamente:

- Mesa digitalizadora 12,0 X 12,0 polegadas;
- CPU: pentium 200 MHZ, 128 MB de memória RAM (não é necessária esta capacidade, embora estivesse disponível) e um disco rígido de 2 GB com o sistema operacional *Windows 95*;
- Versão acadêmica do programa TransCAD;
- Impressora jato de tinta colorida, série 600 da HP.

4.3.4 Entrada de Dados

Após a coleta de dados, a modelagem do problema começou. A primeira etapa foi a digitalização da base geográfica relacionada ao sistema viário (figura 4.3). No caso deste projeto, esta etapa foi favorecida devido à existência do mapa da cidade em formato digital, digitalizado num projeto anterior com auxílio de uma mesa digitalizadora, utilizando recursos do *software* TransCAD (SILVA et al., 1996). O passo seguinte foi a nomeação dos logradouros, tendo sido utilizado como base um mapa em papel da cidade de São Carlos.

FIGURA 4.3 – Imagem vetorial do sistema viário digitalizado.

Para serem realizadas as análises desejadas, foi necessária a criação de uma rede de transporte, utilizando-se recursos disponíveis no *software*. Esta rede, que conta atualmente com 4.550 nós e 12.838 arcos, está disponível na base de dados do *software* TransCAD. Com este tipo de rede muitos problemas de transporte podem ser resolvidos,

tais como: identificação de caminhos mínimos, roteirização de veículos, localização de instalações, etc. (SILVA & WAERDEN, 1997).

A seguir, foram introduzidos novos níveis de informações (outras camadas), a saber, a criação de itinerários de linhas de ônibus com seus respectivos pontos de parada, tendo como base o sistema viário. Esta etapa do trabalho exigiu um tempo considerável, uma vez que, como já foi mencionado, não existia um mapa com a localização dos pontos de parada, tendo sido necessário fazer um levantamento de campo (figura 4.4).

Em suma, os seguintes mapas foram digitalizados seguindo os procedimentos apresentados na tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Mapas digitalizados requeridos neste projeto.

Informações	Objeto digitalizado	Formato digitalizado
Sistema viário	ruas, avenidas, estradas, etc.	linhas
Sistema de Transporte Coletivo	linhas e pontos de ônibus	linhas e pontos respectivamente

FIGURA 4.4 – Detalhe de um mapa de localização dos pontos de ônibus da cidade de São Carlos – SP.

4.3.5 Processamento de Dados

Uma vez introduzidos os dados, teve início a fase de processamento. Os recursos do *software* passaram a ser explorados, com a finalidade de permitir as análises desejadas. As rotinas utilizadas foram as seguintes:

a) Combinação de endereços

O *software* dispõe de ferramentas que permitem questionar sobre a localização geográfica de endereços e pontos de referência, armazenando as respostas em um conjunto de seleções e mostrando-as em destaque através de mapas (figura 4.5) e em um banco de dados (figura 4.6) (CALIPER, 1996b). Estas ferramentas são capazes de responder a questões como:

- Endereço completo (logradouro, número);
- Cruzamentos de vias;
- A localização de um ponto de referência (escola, *shopping center*, hospital, agência bancária);
- Interseção mais próximas de cada ponto de ônibus.

FIGURA 4.5 – Representação gráfica da localização da origem e do destino informados pelo passageiro.

The screenshot shows a software window titled 'PROVIS2:1'. Inside, there is a table with the following data:

ID	Longitude	Latitude	ADDRESS	ZIP CODE
-47897806	-22008430		RUA MIGUEL PETRONI AND RUA D MARIA JACINTA	13560000
-47890062	-22025919		AV SAO CARLOS AND AV RAIMUNDO CORREA	13560000

Overlaid on the table is a dialog box titled 'Locate By Address'. It contains the following fields and values:

Total Records Examined	2
Records Located	2
Records Not Located	0
Records with Invalid IDs	0
Street Addresses	0
Intersections	2

At the bottom of the dialog box is an 'OK' button.

FIGURA 4.6 – Resposta gerada pelo programa sobre a localização geográfica de endereços.

b) Sistema de rotas

Rotas podem ser definidas como sendo um tipo especial de característica geográfica, que representam os caminhos percorridos por veículos, mercadorias e pessoas. Utilizando-se uma rotina específica para se trabalhar com rotas, é possível usar ferramentas para editar, mostrar, perguntar e desenvolver análises geográficas sobre o sistema de rotas em questão (CALIPER, 1996b). Estas ferramentas, dependendo dos dados disponíveis, são capazes de responder entre outras, a questões como:

- Quais são as linhas de ônibus que vão do centro para o *shopping center*?
- Qual é a população atendida por uma ou mais linhas de ônibus?
- Qual o número de pontos de ônibus dentro de um raio de 400 metros a partir de uma escola, hospital, etc.?
- Qual é o melhor caminho ou caminho mais curto para ir de um lugar para outro?
- Quais são os horários disponíveis?
- Qual é a frequência dos ônibus?

TransCAD armazena rotas em um sistema de rotas. Um sistema de rotas é uma camada do mapa que contém uma coleção de rotas, as quais podem ter informações associadas a elas, tais como: código da linha, nome da linha, *headway*, tipo de tarifa, capacidade, dentre outras.

Cada rota, em um sistema de rotas, é definida como sendo uma série de um ou mais elementos de uma camada de linhas. Por exemplo, uma rota de ônibus (figura 4.7) é definida por uma série de ruas sobre as quais o ônibus viaja (CALIPER, 1996b).

Antes de se trabalhar com as ferramentas de edição de rotas, deve-se construir uma rede de transporte utilizando os *links* da camada, na qual o sistema de rotas é baseado. TransCAD utiliza esta rede para determinar o caminho mínimo entre pontos no mapa (CALIPER, 1996b).

Quando várias rotas são digitalizadas no mapa pode ocorrer uma certa confusão na visualização da rede de transporte público. Para evitar que isto aconteça, existe uma opção chamada *tracking*, que permite a sobreposição de rotas, possibilitando assim uma melhor visualização da rede de transporte.

Para usar esta opção, deve-se escolher um campo na camada de rotas que identifica o caminho, no qual cada rota deve ser localizada. Cada vez que o mapa é desenhado, TransCAD encontra todas as rotas que tem o mesmo valor para o campo *tracking*, e desenha-as agrupadas como mostrado na figura 4.8 (CALIPER, 1996b). Neste caso, todas as rotas apresentam a mesma tarifa e por isso são desenhadas com uma mesma cor.

FIGURA 4.8 – Rotas agrupadas utilizando o recurso *tracking*.

c) Redes de transporte público e caminhos mínimos

O *TransCAD* possui ferramentas especializadas e procedimentos para criar e trabalhar com redes de transporte público. Elas são criadas a partir de um sistema de rotas, utilizando informações das rotas, pontos de parada e a camada básica de ruas, e são utilizadas para o seguinte (CALIPER, 1996a):

- Solucionar problemas de caminho mínimo;
- Criar árvores de menor caminho;
- Realizar alocação de viagens de transporte público.

Redes de transporte público são similares as outras redes utilizadas pelo *TransCAD*, uma vez que elas contêm nós e *links* que indicam caminhos de viagens permissíveis, juntamente com informação sobre custos de atravessar cada *link* (CALIPER, 1996a).

4.4 Sumário de Atividades

Após a apresentação do sistema de consulta de itinerários e a descrição dos procedimentos adotados na metodologia empregada, foi feito um resumo das atividades realizadas. É importante salientar que aqui se encontra a alma do projeto, pois uma vez bem definidas as principais informações, a execução do trabalho se torna mais simples.

1ª ETAPA – Obtenção do Mapa em Papel da Cidade de São Carlos – As informações referentes ao sistema viário e nomes dos logradouros foram conseguidas em plantas da prefeitura, em escala 1:10.000.

2ª ETAPA – Aprendizado do *Software* – O aprendizado se deu, basicamente, através do pacote de auto-instrução mencionado em 4.3.1, leitura dos manuais de orientação e a realização dos exercícios propostos nos manuais do *TransCAD*.

3ª ETAPA – Criação da Base de Dados Geográfica - Para viabilizar a utilização do SIG neste projeto, deve-se, em um primeiro passo, criar uma base de dados geográfica na qual constarão todas as informações relevantes à este projeto. Para tanto, foi necessária a criação de uma base de dados de ruas e outra de rotas.

4ª ETAPA – Digitalização da Base de Dados Geográfica Relacionada ao Sistema Viário - Esta etapa foi favorecida devido à existência da já citada base de dados, digitalizada num projeto anterior (ver item 4.3.4). Na época do início do projeto, esta base continha apenas informações básicas do sistema viário, tais como: um número identificador (ID) para cada *link*, o comprimento deste *link* e o sentido.

5ª ETAPA – Criação da Rede - Para serem realizadas as análises desejadas, foi necessária a criação de uma rede de transporte utilizando-se recursos disponíveis no *software*. Com este tipo de rede muitos problemas de transporte podem ser resolvidos, tais como: identificação de caminhos mínimos, roteirização de veículos, localização de instalações, etc.

6ª ETAPA – Nomeação dos Logradouros - Após a digitalização da base de dados, houve a designação dos nomes dos logradouros, tendo sido utilizado como base um mapa em papel da cidade de São Carlos. Maiores detalhes sobre a nomeação dos logradouros podem ser encontrados no item 5.2.2.

7ª ETAPA – Localização Geográfica de Endereços - Após o término da nomeação dos nomes dos logradouros, foram testados alguns procedimentos específicos utilizando-se a técnica *Address Matching*. Esta técnica define a posição de um ponto através do nome do logradouro, número e código de endereçamento postal (CEP). No caso deste projeto, a localização foi feita levando-se em consideração o cruzamento entre vias e o CEP, como será visto no item 5.3.a.

8ª ETAPA – Obtenção dos Itinerários das Linhas - Os itinerários de todas as linhas, que formam o sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos-SP, foram fornecidos pela empresa operadora.

9ª ETAPA – Levantamento de Campo - Algumas informações, como a localização dos pontos de ônibus, tiveram que ser levantadas em campo, para depois serem incorporadas à base de dados geográfica. Maiores detalhes sobre este levantamento podem ser encontrados em 4.3.2.a.

10ª ETAPA - Criação da Base de dados Geográfica de Rotas - Esta base de dados foi criada tendo como base o sistema viário, sendo constituída pelas linhas de ônibus e pontos de parada.

11ª ETAPA – Digitalização da Base de dados Geográfica de Rotas - Utilizando-se uma rotina específica do *software* para se trabalhar com rotas, os itinerários das linhas de ônibus com seus respectivos pontos de parada foram digitalizados, via *mouse*, tendo como pano de fundo o sistema viário. Durante o processo de digitalização da base de dados de rotas, surgem campos responsáveis pelo armazenamento de informações sobre as linhas e pontos, tais como: um número identificador (ID) para cada linha, nome da linha, um número identificador (ID) para cada ponto parada, as coordenadas de cada ponto de parada, dentre outras.

12ª ETAPA – Preenchimento do Banco de Dados com Informações Referentes às Linhas - Os campos a serem completados na tabela eram: código da linha, nome da linha, *headway* e tarifa. As informações necessárias para o preenchimento destes campos foram obtidas junto a empresa operadora. Com estas informações montou-se, a título de exemplo, a figura 4.9.

ID_DA_ROTAS	CODIGO_DA_LINHA	NOME_DA_LINHA	HEADWAY	TARIFA
8 12		Vila Izabel x Santa Paula (via bela vista)	60.00	0.70
23 5		Redenção x Vila São José (via boa vista)	60.00	0.70
42 14A		Redenção (via bela vista) x Santa Paula	60.00	0.70

Figura 4.9 – Informações adicionais sobre as linhas de ônibus.

13ª ETAPA – Criação da Rede de Transporte Público - Para serem realizadas as consultas de itinerários visando a determinação das rotas ótimas, foi necessária a criação de uma rede de transporte público. Maiores detalhes sobre a criação da rede de transporte público podem ser encontrados no item 5.3 c.

14ª ETAPA – Preparação de Consultas - Finalmente, pôde-se realizar as consultas sobre a determinação das rotas ótimas entre origens e destinos informados pelos passageiros e fornecendo como saída: mapas, caixas de diálogo e relatórios. Observa-se que o processamento de consultas, hoje proposto em termos de distâncias percorridas para a determinação das rotas ótimas, poderá evoluir para o uso de informações sobre o tempo de percurso, quando este tipo de dado estiver disponível.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, através de um estudo de caso, pretende-se mostrar uma aplicação prática do emprego de um SIG, no caso o TransCAD, como suporte ao sistema de consulta proposto no item 4.2.

5.1 Introdução

O funcionamento do atendimento a consultas descrito no item 4.2 será demonstrado neste capítulo através da realização de um estudo de caso. Este estudo compreendeu a aplicação do sistema de consulta, apresentado no item 4.2, ao sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos – SP.

De acordo com o objetivo a que se propõe este trabalho, utilizou-se um SIG, o *software* TransCAD, como ferramenta de apoio para o desenvolvimento do sistema de consulta em questão. Ao longo deste capítulo também serão comentadas as dificuldades encontradas no emprego de alguns procedimentos do *software* para este fim.

Inicialmente serão abordados os critérios de definição sobre a área do estudo de caso e os dados utilizados para realização deste estudo. Em seguida, serão mostrados os procedimentos para a utilização do sistema proposto e, por último, será mostrada uma aplicação prática do sistema de consulta e tecidos alguns comentários sobre os problemas observados.

5.2 Área do Estudo de Caso

5.2.1 Critérios de Definição

A escolha da área de estudo levou em consideração aspectos como: apoio da administração municipal local e da empresa operadora do sistema de transporte coletivo, estrutura oferecida pelo centro de pesquisa (Universidade) e facilidades para realização dos trabalhos de campo.

Baseando-se nestes critérios, escolheu-se como estudo de caso o sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos, uma típica cidade de porte médio, que tem uma população de aproximadamente 175 mil habitantes e está localizada próxima a região central do estado de São Paulo (figura 5.1).

O sistema atual de transporte coletivo por ônibus é operado por uma única empresa, com uma frota de 100 veículos que operam em 46 linhas e transportam cerca de 50 mil passageiros (média por dia útil). A cobertura do sistema de transporte coletivo é mostrada na figura 5.2.

FIGURA 5.1 – Localização da área de estudo.

FIGURA 5.2 – Sistema de transporte coletivo de São Carlos.

5.2.2 Dados Utilizados

Para utilizar as informações referentes ao sistema viário é necessário a existência de uma base de dados viária da cidade. Esta base foi obtida num projeto anterior (ver item 4.3.4) e já se encontrava compatível para ser utilizada pelo *software* TransCAD, sendo constituída pelos eixos das vias, aos quais estavam associados campos

responsáveis pelo armazenamento de informações básicas como: um número identificador (ID) para cada *link*, o comprimento deste *link* e o sentido. Nenhuma informação de endereços, ou de qualquer outra natureza, estava disponível na mesma.

Os nomes dos logradouros foram acrescentados à base de dados empregada. Os logradouros podem ser formados por um *link* ou por uma sequência de *links* (figura 5.3). Utilizando-se comandos de seleção é possível nomeá-los, basta apenas selecionar todos os segmentos que os compõem e utilizar outro comando para completá-los com o nome de uma rua, avenida, travessa, praça, etc. (CALIPER, 1996b). A principal dificuldade encontrada na colocação dos nomes dos logradouros foi a inexistência no mapa de alguns nomes de logradouros em bairros periféricos.

FIGURA 5.3 – Parte da base de dados de ruas contendo os nomes dos logradouros.

Para poder utilizar o comando de combinação de endereços faltava apenas acrescentar à base de dados o CEP. Como não havia, na época do início do projeto, informações detalhadas referentes ao CEP, adotou-se um único valor para todos os nomes dos logradouros para que fosse possível realizar a busca de endereços.

Os itinerários das linhas e pontos de parada também foram adicionados à base de dados. Os pontos de parada são representados em SIG como uma camada de pontos. A maneira mais simples de se cadastrar pontos de parada é através da marcação direta sobre a base de dados de rotas. Já as rotas de ônibus são representadas como uma camada de linhas, ou seja, correspondem a uma sequência de *links* por onde passam as rotas e são digitalizadas sobre a base de dados de ruas.

5.3 Procedimentos Adotados

Como o trabalho consiste em localizar a origem e o destino informados pelo passageiro, para depois determinar o caminho mínimo, via ônibus, entre estes dois pontos, escolheu-se a rotina que trata de redes de transporte público e caminhos mínimos. Para que se pudesse utilizar esta rotina foram necessárias mais duas, a saber, combinação de endereços e sistema de rotas. Para isto, fez-se uma junção dessas rotinas, ou seja, com os resultados de uma rotina, alimentou-se a outra, a fim de se obter os resultados gerados pelo *software* que serão mostrados na próxima seção. A seguir será feita uma breve descrição das rotinas empregadas.

a) Combinação de Endereços (*Address Matching*)

Para tornar a localização geográfica de endereços mais eficiente, os nomes dos logradouros foram digitados novamente por uma equipe formada por 6 pessoas, onde procurou-se assegurar uniformidade nos nomes das ruas, buscando-se erros de grafia. A

base de dados foi dividida em setores e cada componente da equipe ficou responsável pela colocação dos nomes dos logradouros em seu setor e em pouco mais de três semanas a base de dados de ruas estava concluída. Houve muito empenho por parte da equipe nesta fase do trabalho, uma vez que esta base de dados seria utilizada para demonstrar o sistema de consulta de itinerários numa feira de tecnologia em São Carlos.

A localização por endereço (*Address Matching ou Geocoding*) é a técnica pela qual se define a posição de um ponto através do nome do logradouro, número e código de endereçamento postal (CEP). Para fazer uso deste recurso é necessário que a base do sistema viário possua informações sobre os nomes dos logradouros, numeração e CEP associadas a cada *link*. Os campos de numeração devem informar o menor valor par, o menor valor ímpar, o maior valor par e o maior valor ímpar para cada segmento (PINTO & LINDAU, 1997).

Os sistemas de localização por endereço podem funcionar de forma automática e semi-automática. No modo automático o sistema localiza todos os endereços que conseguir em um mapa (ver figura 4.5) e reporta o resultado numa tabela (ver figura 4.6) em que indica todos os registros que não foram localizados, se por acaso existirem. No modo semi-automático, quando um registro não é encontrado, o sistema oferece ao usuário opções de localização possíveis (PINTO & LINDAU, 1997).

Como já foi mencionado no item 4.2.2, o passageiro poderá informar a sua localização e seu destino das seguintes maneiras: endereço completo, trecho, ponto de referência ou através de cruzamento de vias. A opção em localizar a origem e o destino informados pelos passageiros através de cruzamento e não por endereço completo, deveu-se ao fato de que a base de dados de endereços ainda não está totalmente concluída, uma vez que ela é comum a diferentes projetos, que se encontram em diferentes fases de desenvolvimento.

Para que a localização por cruzamento possa ser utilizada, é necessária a existência de regras para a nomenclatura dos logradouros e para o CEP. Os nomes dos logradouros que formam cada cruzamento devem estar separados pela palavra *AND* e

apresentar o mesmo CEP, podendo-se utilizar o formato brasileiro com CEP para 8 dígitos. Estas regras devem ser seguidas, pois se as convenções não forem obedecidas, os cruzamentos não serão localizados.

Vale ressaltar que o comando *Address Matching* apresenta um algoritmo de busca fonética, não existindo problemas com letras maiúsculas/minúsculas, com abreviaturas e, ainda, com erros de digitação como trocas de “s” por “z”, ou “e” por “i”, etc. Com relação ao comando *Select by condition* deve-se levar em consideração as mesmas regras usadas pelo TransCAD no banco de dados de ruas.

Segundo empresas de consultoria que trabalham com o *software* TransCAD, para se conseguir uma maior eficiência do comando para a localização geográfica de endereços no formato brasileiro, seria necessária a implementação de um algoritmo utilizando o *kit* de programação GISDK disponível no TransCAD.

b) Sistema de rotas (*Route System*)

Como o trabalho está diretamente ligado à operação do sistema de transporte coletivo, procurou-se escolher uma rotina específica do *software* para se trabalhar com rotas. Antes que as linhas de ônibus e os pontos de parada fossem cadastrados tendo como base o sistema viário, foi necessária a criação de uma rede de transporte, utilizando-se os *links* da camada na qual o sistema de rotas é baseado, no caso o sistema viário. Após a criação da rede de transporte, utilizando-se as ferramentas de edição de rotas, foram digitalizados (via *mouse*) na base de dados de ruas os itinerários das linhas e os pontos de parada.

Após a digitalização de todas as linhas e paradas que compõem o sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos – SP, observou-se, na tela do computador, um emaranhado de linhas de ônibus provocando uma certa confusão na visualização do mapa em formato digital. Para solucionar este problema utilizou-se o recurso chamado

tracking, que permite a sobreposição de rotas, possibilitando assim uma melhor visualização e análise da rede de transporte coletivo.

A principal dificuldade observada em utilizar o módulo *Route System* deveu-se a ineficiência ao se trabalhar com redes, no que diz respeito a atualização de dados no mapa. Por exemplo, quando for necessário digitalizar as novas linhas de ônibus que servirão a um novo bairro, poderão ocorrer problemas constantes ao se utilizar a rede (usada para criar o sistema de rotas) na atualização do sistema de transporte coletivo. A criação de um novo bairro implicará na atualização de dados na base do sistema viário, ou seja, na digitalização das novas ruas e avenidas. Uma vez concluída esta etapa e na tentativa de traçar as novas rotas de ônibus que servirão aquele bairro, geralmente ocorria uma falha geral, sendo necessário reiniciar o programa. Espera-se que a versão 3.1 do TransCAD, lançada recentemente, corrija esta falha.

c) Redes de transporte público e caminhos mínimos (*Transit Network and Shortest Paths*)

Este módulo tem como objetivo encontrar o caminho mínimo entre pontos de parada na rede de transporte público, baseado em atributos de rede, tais como: tempo, distância e um valor monetário atribuído ao custo de viagem. Para tanto, é preciso criar uma rede de transporte público, utilizando-se informações das rotas, dos pontos de parada e da camada básica de ruas. O *software* utiliza esta rede para determinar o caminho mínimo entre pontos de parada no mapa (CALIPER, 1996a).

Uma vez definidos os campos da camada básica de ruas, de rotas e pontos de parada, configurada a rede de transporte público e estando ativa a camada de rotas, procedeu-se a determinação de caminhos mínimos, baseados na distância, via ônibus, entre vários pontos da cidade. Após as primeiras análises, verificou-se que nem sempre era possível realizar a viagem em apenas uma linha, sendo necessário realizar

transbordos ao longo do trajeto e fazer combinações entre linhas que servem à origem e ao destino.

As vantagens do uso de redes de transporte público, em relação a simplesmente utilizar-se dos sistema de rotas, são, principalmente, a possibilidade de se trabalhar com transferências entre linhas (ou entre modos) e a determinação de itinerários de menores custos. Utilizando-se redes de transporte público e estrutura tarifária é possível resolver problemas de caminho mínimo entre pontos de parada num sistema de rotas ou entre zonas de tráfego (CALIPER, 1996a).

A próxima seção descreve o funcionamento do sistema de consulta de itinerários, com base na operação de um sistema de transporte coletivo no mundo real com auxílio das ferramentas descritas anteriormente.

5.4 Aplicação do Sistema de Consulta de Itinerários

Este sistema tem como finalidade atender a pessoas que queiram deslocar-se de ônibus de um ponto a outro na cidade de São Carlos. A idéia é de se colocar um número de telefone a disposição das pessoas para que elas possam saber que ônibus tomar para se deslocar de um local para outro. Ele compreende duas etapas: a primeira é a localização geográfica da origem e do destino informados pelos passageiros e a segunda consiste em determinar a rota ótima, via ônibus, entre estes dois pontos.

a) 1ª Etapa – Localização geográfica

Ao ligar, o passageiro dirá em qual esquina (cruzamento entre vias) se encontra e para qual deseja se locomover. De posse desta informação o operador digitará na tela abaixo a origem e o destino informado:

CONSULTA	
ID CRUZAMENTO	CEP
1 ORIGEM	--
2 DESTINO	--

FIGURA 5.4 – Modelo utilizado pelo *software* para a localização geográfica do passageiro.

Suponha que um passageiro esteja próximo ao cruzamento das ruas Miguel Petroni e Dona Maria Jacinta e queira deslocar-se para o cruzamento das avenidas São Carlos e Raimundo Correa. A tela acima ficaria da seguinte maneira, após ser preenchida pelo operador do sistema.

CONSULTA	
ID CRUZAMENTO	CEP
1 RUA MIGUEL PETRONI AND RUA D MARIA JACINTA	13560000
2 AV SAO CARLOS AND AV RAIMUNDO CORREA	13560000

FIGURA 5.5 – Tela contendo a origem e o destino fornecidos pelo passageiro.

Partindo-se do pressuposto que a localização geográfica da origem e do destino informados pelo passageiro tenha sido realizada com sucesso, o processamento prosseguirá para a etapa seguinte.

b) 2ª Etapa – Determinação do caminho mínimo

Para solucionar problemas de caminho mínimo, o operador desenhará um círculo, com o *mouse*, em volta do ponto de origem e outro em volta do ponto de destino, e em poucos segundos será mostrada a rota ótima. TransCAD encontrará a parada na qual a viagem deve começar, determinará a(s) rota(s) que será(serão) usada(s) para chegar ao destino, e escolherá a parada onde deverá ser efetuado o desembarque (CALIPER, 1996a).

Ao resolver problemas de caminho mínimo pela primeira vez, o programa perguntará o nome da tabela na qual os resultados serão armazenados. Quando vários caminhos mínimos forem solucionados, os resultados serão todos armazenados nesta tabela e mostrados como parte de uma camada (CALIPER, 1996a).

O programa produz uma série de instruções para cada caminho mínimo, indicando o local de embarque de cada rota, o número de paradas durante o trajeto e o local do desembarque de cada rota (figura 5.6).

Caminho Mínimo	Linha	Embarque em	Desembarque em	Número de Pontos
1	149	7795	7813	18

FIGURA 5.6 – Tela com resultados do caminho mínimo.

Os resultados obtidos sobre a consulta de itinerários são mostrados de duas maneiras: através de uma caixa de diálogo e graficamente em um mapa. A figura 5.7 corresponde à saída dos resultados gerados pelo *software*. Esta saída é feita através de uma caixa de diálogo que contém as seguintes informações, que serão comentadas a seguir:

- Custo total generalizado de viagem entre cada origem e destino, baseado no tempo de viagem, na distância ou qualquer outra variável definida (*Total \$ Cost*);
- Tarifa paga pela viagem (*Fare*);
- Número de transferências requeridas para fazer a viagem (*Xfers*);
- Tempo gasto esperando para embarcar no ônibus (*Wait Time*);
- Características do menor caminho (*Skim Values*);
- Instruções para realizar a viagem (*Directions*).

Transit Path Results

Summary Information

Fare	\$0.70	Total \$ Cost	\$1.05
Xfers	0	Wait Time	30.00

Skim Values

Field	On Board	Transfer	Access
Length	4.63	0.00	0.00

Directions

Board Linha 13 at Ponto da Igreja for 18 stops.
Get off at 815 AV SAO CARLOS.

Buttons: Close, Another Path

Figura 5.7 – Saída dos resultados gerados pelo *software* sobre a consulta de itinerários.

Para resolver problemas de menor caminho, deve-se definir o atributo de rede que contém a impedância ou custo total generalizado. Este atributo pode ser o tempo de viagem, mas em algumas circunstâncias pode ser a distância ou qualquer outra variável. O TransCAD, quando encontra o caminho mínimo, considera a variável escolhida juntamente com o tempo de espera e o custo efetivo gasto. Deve-se também fornecer informação sobre valores relativos entre tarifa e impedância. Por exemplo, se a escolha for minimizar o tempo de viagem, deve-se atribuir um valor monetário ao tempo (por exemplo, R\$ 0.01 por minuto). Agora, se a escolha for minimizar a distância, deve-se atribuir um valor monetário à distância (por exemplo, R\$ 0.01 por km percorrido). Estes valores serão adicionados ao preço da tarifa para a composição do custo total generalizado de viagem (CALIPER, 1996a).

A tarifa é definida em campos associados à camada do sistema de rotas, podendo suportar vários tipos de tarifa (única ou diferenciada por zonas). O número máximo de transferências pode ser limitado para a determinação do menor caminho. Assim como a tarifa, o tempo máximo de espera também é definido em campos associados à camada do sistema de rotas e pode-se atribuir a ele um valor máximo permitido na solução do menor caminho (CALIPER, 1996a).

As características do menor caminho contêm o atributo que foi minimizado para a determinação do menor caminho e as características associadas a ele. As instruções sobre como proceder para realizar a viagem contêm informações sobre a(s) linha(s) utilizada(s), denominação dos pontos de embarque e desembarque e o número de paradas durante o percurso. Para gerar estas instruções, o programa precisa de uma descrição da localização de cada ponto de parada. Esta informação pode ser armazenada em campos que contêm informações sobre os pontos de parada. Caso esta informação não seja fornecida, o programa compreenderá que a localização será baseada na camada de ruas (cruzamento mais próximo) (CALIPER, 1996a).

A figura 5.8 mostra a representação gráfica do caminho mínimo entre dois pontos dados, obtida utilizando o sistema de consulta.

Figura 5.8 – Rota ótima representada entre origem e destino fornecidos pelo passageiro.

5.5 Problemas Observados

O processo de coleta e levantamento de dados foi estudado detalhadamente, para que se tivesse um uso racional dos recursos envolvidos. Para este levantamento, foram utilizados um veículo particular e a mão-de-obra de pessoas engajadas em diversos projetos de planejamento de transportes desenvolvidos na Área de Pós Graduação em Transportes na EESC-USP. Mesmo assim houve dificuldades na obtenção dos dados, uma vez que nas regiões mais periféricas, onde as linhas não estão consolidadas e a infra-estrutura urbana é deficiente, muito tempo é perdido na obtenção de informações.

No caso particular, a não existência de marcos de identificação em alguns pontos de ônibus e a ausência dos nomes dos logradouros trouxeram dificuldades inesperadas

Para que possam ser passadas informações aos passageiros sobre os pontos de embarque e desembarque, é preciso saber exatamente onde se localizam os pontos em que os passageiros podem entrar e sair do sistema. Uma maneira de se fazer isso, na prática, seria associar a todo ponto um número, ou ainda uma referência auxiliar para facilitar a identificação *in loco* (por exemplo, ponto nº 10, ponto da igreja, em frente a farmácia, etc.).

A base de dados atual descrita no item 5.2.2 prejudica o desempenho da técnica *Address Matching* (Combinação de endereços) para a localização geográfica de endereços, uma vez que o tempo de resposta (aproximadamente 40 seg.) dificulta a aplicação prática do sistema de consulta de itinerários. Com a incorporação de informações sobre a numeração e o CEP a esta base de dados, o tempo de resposta deverá cair para aproximadamente 5 seg. Ainda sobre a localização geográfica de endereços, é importante ressaltar que devem ser levadas em consideração as regras definidas em 5.3 a, pois se os padrões não forem seguidos, os endereços não serão localizados.

Com relação a representação gráfica da localização da origem e do destino informados pelos passageiros, o comando *Address Matching* apresenta uma falha, uma vez que ele não diferencia no mapa a origem do destino.

O sistema de consulta de itinerários, tal como está aqui concebido, tem o inconveniente de não ser totalmente automático, pois para isso, seria preciso juntar as rotinas empregadas pelo *software* em um único procedimento. O ideal seria que, ao localizar a origem e o destino informados pelo passageiro, o sistema já determinasse o caminho mínimo, via ônibus, entre estes dois pontos. Para tanto, seria necessário explorar recursos de linguagens de programação disponíveis.

A seguir serão feitos alguns comentários sobre o aprendizado da linguagem de programação, dificuldades encontradas, busca de soluções, o que se pretendia fazer, perspectivas para futuros desenvolvimentos e um sumário das principais etapas do projeto.

Por se tratar de um novo instrumento de trabalho e por não se dispor de pessoas com o conhecimento suficiente a respeito da linguagem de programação GISDK para encaminhar os primeiros passos, o treinamento se deu, basicamente, na forma de auto-aprendizado. Os árduos passos iniciais para o conhecimento da estrutura básica do sistema foram a leitura dos manuais de programação e a realização de poucos exercícios disponíveis em alguns capítulos dos mesmos.

Diante da abrangência e da complexidade das funções em *Caliper Script* (ver item 3.7) existentes nos manuais (CALIPER, 1995), procurou-se uma função específica que fizesse o mesmo que o comando *Address Matching* (ver item 5.3.a). Após uma análise bem detalhada, chegou-se a conclusão que não existia esta função disponível na versão 3.0 do TransCAD. Diante desta situação, foram feitos contatos com empresas de consultorias, universidades e correspondência via *e-mail* com a equipe de suporte técnico do TransCAD, buscando o esclarecimento de algumas questões que permaneciam pendentes.

Após algum tempo de espera, foram recebidas as seguintes respostas, fornecidas por uma empresa de consultoria e pelo fabricante do produto, respectivamente:

"(...) através do GISDK, você consegue implementar um algoritmo que faça o mesmo que a opção Locate by Address, mas não existe uma função que faça isso diretamente. A própria opção Locate by Address foi desenvolvida em GISDK, pois todo o TransCAD o foi, mas o seu processamento engloba um algoritmo. Com certeza a implementação é possível, pois temos um produto desenvolvido em GISDK, que faz a localização geográfica de endereços (para o formato brasileiro), e para isso fizemos a implementação de um algoritmo (...)" (empresa de consultoria)

"(...) There is an Add-in to the GISDK that permits address-level geocoding (...)"
(fabricante)

A função em *Caliper Script*, responsável pela localização geográfica de endereços, foi adquirida junto ao fabricante como parte do suporte técnico. Uma vez estudada e explorada esta função, o passo seguinte seria a incorporação da rotina de caminho mínimo. A ideia era amarrar as coordenadas dos pontos selecionados pelo comando de localização geográfica (ver figuras 4.5 e 4.6) à rotina de caminho mínimo, ou seja, no momento em que o programa localizasse os pontos consultados, ele determinaria a rota ótima entre estes dois pontos. Além da automatização de rotinas, os recursos de programação também permitem a personalização do programa, através de menus, caixas de diálogo, caixa de ferramentas, etc.

Devido a limitação de recursos e, principalmente, de tempo, além das dificuldades encontradas em utilizar a linguagem de programação, *Caliper Script*, o estudo apresentado se restringiu em utilizar os procedimentos adotados descritos em 5.3, sem juntar as rotinas empregadas pelo *software* em um único procedimento, explorando recursos de linguagens de programação disponíveis.

Houve, é certo, limitações em razão de se tratar de uma nova tecnologia. Os primeiros passos já foram dados na tentativa de aperfeiçoar o sistema proposto, que jamais poderá ser considerado como um elo fechado, acabado. Novas ideias surgirão e necessitarão de soluções mais eficientes, que os planejadores de transportes terão que tomar. Sob esta ótica, não se teve a pretensão de abordar o tema em sua plenitude, e sim, de apresentar pequenas luzes para a comunidade científica, na certeza de que novas ideias serão lançadas, completando assim, lacunas que não foram preenchidas, apesar dos significativos esforços envidados neste sentido.

Por fim, a tabela 5.1 mostra um resumo das principais etapas do projeto e o tempo gasto em cada uma delas, com o intuito de orientar projetos futuros.

TABELA 5.1 – Cronograma da principais etapas do projeto.

ETAPAS\MESES	1997								1998		
	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev.	mar.
Aprendizado do <i>software</i>	■	■	■								
Digitalização da base de dados viária da cidade ⁴				■							
Nomeação dos logradouros					■						
Levantamento de campo					■	■					
Digitalização da base de dados de rotas					■	■					
Implementação de rotinas de consulta no <i>software</i>						■	■				
Aprendizado da linguagem de programação GISDK								■	■	■	■

⁴ Esta etapa foi beneficiada devido a existência da já citada base de dados, digitalizada num projeto anterior (ver item 4.3.4).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A realização deste trabalho foi motivada pela falta de informações sobre o sistema de transporte público com o qual se defrontam os passageiros, com a perspectiva de estudar formas de facilitar o acesso a estas informações de maneira rápida e eficiente, utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG). O fato de que essa tecnologia está em processo intenso de difusão, e que o seu uso para o planejamento, o projeto, e a operação de sistemas de transporte se torna progressivamente imprescindível aos tomadores de decisão, levou a sua utilização neste trabalho.

O propósito deste trabalho se fundamentou em fornecer subsídios para a implantação de um sistema de informações aos passageiros do sistema de transporte coletivo (sistema de consulta por telefone), baseado num SIG, oferecendo informações desde a localização dos pontos de parada de ônibus até a determinação de rotas ótimas, via ônibus, entre a origem e o destino informados pelos passageiros. Desta forma, escolheu-se um *software* de SIG, denominado TransCAD, que foi o responsável pelas análises conduzidas neste trabalho.

O TransCAD se destacou como compilador de todas as características físicas do sistema de transporte coletivo objeto de estudo, como processador dos dados de entrada para a modelagem do problema e como ferramenta de apoio para as análises desejadas.

Por outro lado, as grandes dificuldades encontradas no uso do TransCAD deveram-se à interface ainda pouco eficiente existente na localização geográfica de

endereços e ao tempo de processamento; trabalhosa linguagem de programação para não programadores; adaptação à realidade brasileira; e a ineficiência ao se trabalhar com redes, no que diz respeito a atualização de dados no mapa. Do exposto, conclui-se que o SIG, no caso o TransCAD, apresenta-se como instrumento capaz e importante para subsidiar um sistema de informações aos passageiros do sistema de transporte coletivo, uma vez que os problemas detectados foram principalmente na operação e não de resultados obtidos pelo sistema.

A aplicação do sistema de consulta de itinerários mostrado no capítulo anterior, utilizando dados reais do sistema de transporte coletivo da cidade de São Carlos-SP, mostrou a viabilidade de sua utilização. No entanto, para que este sistema possa ser aplicado na prática, seria interessante o desenvolvimento de uma melhor interface entre o TransCAD e o operador do sistema de consulta de itinerários, a fim de facilitar a operação do sistema e o fornecimento de informações aos passageiros. Esta interface pode ser conseguida utilizando-se o módulo de programação do TransCAD, chamado GISDK, que está permitindo um novo horizonte no tratamento e consulta de dados.

A experiência de desenvolvimento para implantação de um sistema de informações para usuários de transporte coletivo relatada ao longo deste trabalho, talvez interesse àquelas instituições que estejam pensando em iniciar o processo de escolha e uso de um *software* de SIG para este fim.

Para se conseguir êxito na implantação de um sistema de consulta, algumas etapas devem ser consideradas. Primeiramente cada organização deve definir que tipos de uso e benefícios podem ser exequíveis e prioritários, atendendo às condições locais, e a partir de então estabelecer metas específicas para o projeto. Deve-se também ter disponível uma estrutura mínima que possibilite o desenvolvimento do projeto e seja capaz de produzir resultados que demonstrem os benefícios gerados pelo *software*. A equipe deve ser multidisciplinar, porém é imprescindível que se tenha mão-de-obra qualificada. Outro aspecto a ser apontado é o planejamento do trabalho, que deve ter etapas bem definidas, de forma a garantir objetivos claros e mensuráveis. Outro dado

primordial é o contato com pessoas e empresas que utilizam o *software* de SIG para troca de experiências. Esta relação é fundamental, uma vez que eventuais problemas podem ser solucionados. Deve-se também, na medida do possível, fazer críticas ao sistema e a sua implementação para avaliar o conjunto de decisões tomadas.

Os resultados obtidos até o momento indicam que pode ser viável implantar um sistema de consulta dessa natureza em cidades de porte médio, sem grandes investimentos, desde que haja mão-de-obra qualificada e um treinamento prévio dos técnicos que irão operá-lo, como condições essenciais para o sucesso do projeto. A título de ilustração, o custo em termos de *hardware* fica em torno de R\$ 4.000 (quatro mil reais) e para aquisição do *software* em torno de R\$ 11.000 (onze mil reais). O que se pode fazer para reduzir custos é o compartilhamento de informações de interesse comum envolvendo diferentes instituições. Por exemplo, tanto a prefeitura quanto as concessionárias podem precisar de informações sobre as vias urbanas. As empresas de transporte público também podem ser beneficiadas com o planejamento de novas linhas, reduzindo custos e melhorando a eficiência do sistema.

O custo para a aquisição do *software* e compra dos equipamentos necessários para o perfeito desempenho das funções de digitalização de dados, processamento de dados e apresentação das informações é pequeno quando comparado com o custo para a montagem das bases de dados, que é a etapa mais demorada e cara.

Recomenda-se que institutos de pesquisas, prefeituras e empresas operadoras realizem convênios, a fim de que as informações que serão geradas pela implementação de SIGs nas principais cidades do país sejam aproveitadas e que possam se converter em ações concretas para a melhoria da qualidade de vida em nossas cidades.

Espera-se ainda que a implantação de um sistema de informações para usuários de transporte coletivo possa contribuir para a melhoria da prestação dos serviços essenciais à sociedade, melhorando assim a imagem da administração pública perante a sociedade.

Uma sugestão para um futuro trabalho de pesquisa seria a criação de meios para disponibilização de uma base de dados geográfica atualizada contendo informações referentes ao sistema de transportes, via *Internet*. Desta forma, um maior número de pessoas teria acesso a informações públicas de maneira rápida, confiável e eficiente. Além disso, pode-se incrementar o comando de localização geográfica de endereços para o formato brasileiro utilizando-se o *kit* de programação GISDK. Alguns pontos adicionais que podem ser acrescentados: entrada de dados para o formato brasileiro; localização de endereços rodoviários; codificação fonética para os nomes dos logradouros, facilitando a digitação do endereço; além é claro, de interfaces personalizadas para cada usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, V.C.; AQUINO, M.S. (1994). Um Sistema de Informação Geográfica para Planejamento de Rotas de Ônibus. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 94, Curitiba, 1994. *Anais*. p.1-9.
- ANDRADE, R.C.R.; MENDES, A.P.D. (1995). Plano Multimodal de Transportes para o Estado de Minas Gerais: Uma Abordagem ao Sistema Informatizado de Planejamento de Transportes. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP, 10, São Paulo, 1995. *Anais*. p.361-368.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1997a). Transporte Humano - Cidades com Qualidade de Vida. São Paulo, 1997. Cap.1, p.18-26; Desenvolvimento Urbano e Político de Transporte e Trânsito. Cap.5, p.99-132; Infra-estrutura. Cap.6, 133-212; Transporte Público
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1997b). INFORMATIVO ANTP - nº 47, dezembro/97.
- BALASSIANO, B. (1997). Planejamento Estratégico de Transportes Considerando Sistemas de Média e Baixa Capacidade. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. v.1, p.203-216.
- BARTOLI, S.P.; FORTES, J.A.A.S.; ANDRADE, N.P. (1996). Sistema de Informação Geográfica (SIG) como Instrumento para Avaliação da Acessibilidade Locacional de Paradas de Ônibus. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 10, Brasília, 1996. *Anais*. v.1, p.245-256.
- CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A. (1994). *Sistemas de Informações Geográficas*. Universidade Federal de Viçosa - Imprensa Universitária, Minas Gerais.
- CALIPER (1995). Programmer's Guide, Version 3.0. Newton, Ma, Caliper Corporation.

- CALIPER (1996a). *Travel Demand Modeling with TransCAD 3.0*. Newton, Ma, Caliper Corporation.
- CALIPER (1996b). *TransCAD - Transportation GIS Software. User's Guide, Version 3.0 for Windows*. Newton, Ma, Caliper Corporation.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES G.C.; MEDEIROS, C.M.B. (1996). *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas, 10^a Escola de Computação. 1996. Cap.1, p.5-20: Conceitos Básicos. Cap.2, p.21-36: Sistemas de Informação Geográfica.
- CHAPLEAU, R.; ALLARD, B.; TRÉPANIÉ, M. (1996). *Transit Path Calculation Supported by Special Geographic Information System-Transit Information System*. Transportation Research Record, 1521, p.98-107.
- DANTAS, A.S.; TACO, P.W.G.; YAMASHITA, Y. (1996). Sistemas de Informação Geográfica em Transportes: O Estudo do Estado da Arte. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 10, Brasília, 1996. *Anais*, v1, p.211-222.
- DAVIS JR, C.A. (1997). Aumentando a Eficiência da Solução de Caminho Mínimo em SIG. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 97, Curitiba, CD-ROM.
- DAVIS JR, C.A.; FONSECA, F.T. (1994). Geoprocessamento em Belo Horizonte: Aplicações. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 94, Curitiba, 1994. *Anais*, p.41-46.
- FERRARI, R. (1996). Cenários Alternativos para o Uso de GIS em Municípios. Aplicações. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 96, Curitiba, 1996. *Anais*, p.17-23.
- FERRARI, R. (1997). *Viagem ao SIG*. Curitiba, Sagres.

- FERRAZ, A.C.P. (1997). Transporte Público Urbano. Notas de Aula do Curso de pós graduação em Transportes. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, F.E.; SÁ, L.A.C.M.; LOCH, C.; MAYERLE, S.F. (1994). Metodologia para o Planejamento da Rede Transportes coletivos urbanos por ônibus. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 8, Recife, 1994. *Anais*, v.1, p.529-539.
- KAGAN, H.; ROSSETO, C.F.; CUSTÓDIO, P.S.; MARTINS, W.C. (1992). Uso de Sistema de Informações Geográficas no Planejamento de Transportes. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 6, Rio de Janeiro, 1992. *Anais*, v.2, p.892-909.
- LEIPNIK, M.R.; KEMP, K.K.; LOAICIGA, H.A. (1993). Implementation of GIS for Water Resouces Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.119, n.2, p.184-205.
- LOUREIRO, C.F.G.; RALSTON, B.A. (1996). SIG como Plataforma para Modelos de Análise de Redes de Transporte. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 10, Brasília, 1996. *Anais*, v.1, p.235-244.
- MARQUES, H.N.; SILVA, A.N.R. (1997). Um Sistema de Informações para usuários de Transporte Coletivo em Cidades de Médio Porte. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*, v.1, p.138-146.
- MARTINS, W.C.; IVERSSON, G. (1993). Criação de Uma Base de dados Georeferenciada para Estudos de Planejamento Regional de Transportes no Brasil. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 7, São Paulo, 1993. *Anais*, v.2, p.617-625.

- MERCEDES BENZ DO BRASIL. (1987). Sistema de Transporte Coletivo por Ônibus - Planejamento e Operação. Departamento de Sistemas de Trânsito e Transporte - Mercedes Benz do Brasil. São Paulo, 1987. Cap.2, p.6-12: Sistema de Transporte Coletivo Urbano. Cap.3, p.13-51: Planejamento de um Sistema de Transporte Coletivo. Cap.5, p.57-77: Programação da Operação do Transporte Coletivo por Ônibus.
- NASSI, C.D.; GUEDES, E.P.; LINS, F.J.P.; BRAGA, A.F.; SILVA, F.S.P.; AGUIAR, H.P. (1996). Adaptação Gráfica de uma Base Cartográfica Voltada para os Problemas de Transportes. In: SEMANA ESTADUAL DE GEOPROCESSAMENTO - SEGEO, 1, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*, p.131-140.
- NASSI, C.D.; SANTOS, M.P.S.; BODMER, M.; FILHO, R.D.O.; GAVA, R.M. (1994). Adaptação Gráfica de uma Base Cartográfica de um Município Voltada para os Problemas de Transporte Público. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 8, Recife, 1994. *Anais*, v.1, p.541-550.
- NOVAES, A.G.; ROSSETO, C.F. (1993). Localização de Depósitos numa Rede Logística com Auxílio de GIS. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 7, São Paulo, 1993. *Anais*, v.2, p.605-616.
- OLIVEIRA, M.G.S. (1997). *Produção e Análise de Planos Semafóricos de Tempo Fixo Usando Sistemas de Informações Geográficas*. Rio de Janeiro, 126p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- OLIVEIRA, M.G.S.; RIBEIRO, P.C.M. (1997). Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em Coordenação Semafórica. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*, v.1, p.113-125.
- PADILHA, E. (1998). Por uma Política de Transportes Urbanos. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 31 mar. Caderno 1, p.3.

- PINTO, A.B.; LINDAU, L.A. (1997). Cadastro de Linhas de Ônibus utilizando Sistemas de Informação Geográfica e GPS. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. v.1, p.126-137.
- PIMENTEL, F.L.; SALGADO, A.C. (1994). Uma Visão sobre SIG. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 8, Recife, 1994. *Anais*. v.1, p.517-528.
- RAMALHO, G.G.C., CALIJURI, M.L. (1994). *Sistemas de Informações Geográficas: Conceitos Fundamentais*. REM - R. Esc. Minas, Ouro Preto, 47 (2): 134-142, abr. jun.
- ROSSETO, C.F.; CUNHA, C.B. (1994). A Aplicação do Geoprocessamento na Roteirização de Veículos. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 94, 1, Curitiba, 1994. *Anais*. p.35-44.
- SILVA, A.N.R. (1995). Os Sistemas de Informação Geográfica e a Engenharia de Transportes no Brasil. In: WORKSHOP SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - ANPET, 9, São Carlos, São Paulo, 1995. p.1-8.
- SILVA, A.N.R.; FERRAZ, A.C.P. (1991). Transporte Público Urbano - Operação e Administração. Notas de Aula do Curso de graduação. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, A.N.R.; KAWAMOTO, E. (1995). Using GIS to Improve Urban Public Transportation - A Case Study in a Developing Country. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH - WCRTS, 7, Book of abstracts. Sydney, Australia, 1995. p.5-4.
- SILVA, A.N.R.; LIMA, R.S.; MELO, J.J.O. (1997). Introduzindo os Sistemas de Informações Geográficas no Ensino de Engenharia de Transportes. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. v.2, p.685-691.

- SILVA, A.N.R.; LOTTI, C.P.; MARGARIDO, S.A.; PAMPOLHA, V.M.P. (1996). Quem não tem Tiger... *Revista Fator GIS*, n.14, p18-19.
- SILVA, A.N.R.; MENDES FILHO, J.T.; RAIA JR, A.A. (1995). Using GIS to Evaluate the Impacts of Urban Growth on the Transit System of a Brazilian Medium-Sized City. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 4, *Proceedings*. Melbourne, Australia, 1995. p.255-266.
- SILVA, A.N.R.; VARGAS, E.N.Z.; ITO, L.E.; CUBAS, S.I.B. (1994). O Uso de Sistemas de Informação Geográfica no Planejamento e Reestruturação de Sistemas de Transporte Público Urbano. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y URBANO - CLATPU, 7, *Memorias*. Buenos Aires, Argentina, tomo 2, p.333-342.
- SILVA, A.N.R.; WAERDEN, P.V.D. (1997). *First steps with a Geographic Information System for transportation*. Ribeirão Preto, São Francisco.
- SILVA, D.M.; LINDAU, L.A. (1997). Potencial dos Sistemas Avançados (APTS) no Transporte Coletivo Urbano por Ônibus. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. v.1, p.510-518.
- SILVA, M.P.; ALMEIDA, C.L.T.; RUBIRA, J.A.C.; BRAGLIA, J.M. (1997). O Processo de Implantação de um Sistema de Informações Geográficas no Planejamento do Transporte Integrado ao Metrô/SP. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 97, Curitiba, CD-ROM.
- SIQUEIRA, C.A.B.; CASSUNDÉ, M.I.V. (1994). O Geoprocessamento como Instrumento de Gestão de Transporte Coletivo na EMTU/ RECIFE. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 8, Recife, 1994. *Anais*. v.1, p.551-556.

- TACO, P.W.G.; YAMASHITA, Y.; SOUZA, N.M. (1996). Definição de setores Agregados Homogêneos (SAH) para a Análise de Zonas de Tráfego (ZT) usando Sensoriamento Remoto. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 10, Brasília, 1996. *Anais*. v.1, p.223-234.
- TEIXEIRA, A.M.A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. (1992). *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Rio Claro, edição do autor.
- VIVIANI, E.; SÓRIA, M.H.A.; SILVA, A.N.R. (1994). Gerenciamento de Vias não Pavimentadas e a Utilização de Sistemas de Informação Geográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1, Florianópolis, 1994. *Anais*. p.118-126.
- VUCHIC, V.R. (1981). *Urban Public Transportation - Systems and Technology*. New Jersey, Prentice Hall.
- WAERDEN, P.V.D.; TIMMERMANS, H. (1996). *Transportation Planning and the use of Transcad*. Transportes, v.4, n.1 e 2, p.25-37.
- ZUPPO, C.A.; DAVIS JR, C.A.; MEIRELLES A.A.C. (1996). Geoprocessamento no Sistema de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 96, Curitiba, 1996. *Anais*. p.376-387.