

# Planejamento Logístico de Rotas para Sistema de Navegação Apoiado por GPS

J. K. Hasegawa <sup>1</sup>

M. Galo <sup>2</sup>

J. F. G. Monico <sup>3</sup>

N. N. Imai <sup>4</sup>

Unesp – Universidade Estadual Paulista / Departamento de Cartografia  
FCT - Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Rua Roberto Simonsen 305, CP 468  
CEP 13060-900, Presidente Prudente, SP

<sup>1</sup> ✉ [hasegawa@prudente.unesp.br](mailto:hasegawa@prudente.unesp.br)

<sup>2</sup> ✉ [galo@prudente.unesp.br](mailto:galo@prudente.unesp.br)

<sup>3</sup> ✉ [galera@prudente.unesp.br](mailto:galera@prudente.unesp.br)

<sup>4</sup> ✉ [nnimai@prudente.unesp.br](mailto:nnimai@prudente.unesp.br)

<b>Conteúdo</b>	<p><b>1 Introdução</b></p> <p><b>2 As Ferramentas do Sistema</b></p> <p>    2.1 O Mapa</p> <p>    2.2 Inteligência Artificial</p> <p>    2.3 Sistema de Posicionamento GPS</p> <p><b>3 Descrição do Sistema</b></p> <p>    3.1 Programas Desenvolvidos</p> <p><b>4 Validação Preliminar do Protótipo</b></p> <p>    4.1 Processamento utilizando dados simulados</p> <p><b>5 Considerações Finais</b></p> <p><b>6 Referências Bibliográficas</b></p>
-----------------	--

**Resumo :** Este trabalho tem por objetivo apresentar uma versão preliminar do processo de busca de caminho entre duas localidades. Trata-se de um aplicativo destinado ao apoio de tomada de decisão de um usuário de sistema de navegação terrestre - SNT. Foi implementado um protótipo com base na combinação de técnicas de Mapeamento, Computação Gráfica e Inteligência Artificial. O sistema foi testado com dados simulados e dados do mundo real. A base de dados foi gerada com uso dos recursos do ArcInfo que permitiu criar o relacionamento topológico de rede. Os resultados das buscas realizadas são mostrados no monitor de um computador que integra um SNT.

**Abstract :** The aim of this paper is to present a preliminary version of the path search process between two locations. It is an application that can give support to the decision of a terrestrial navigation system (SNT) user. It was implemented as a prototype based on in the combination of techniques like Mapping, Graphics Computation and Artificial Intelligence. The system was tested using simulated an real data. The data base was generated using resources of ArcInfo, which allowed to create the topological relationship of the network. The searches results are displayed by the SNT computer.

## 1 Introdução

Desde os primórdios o ser humano busca explorar e ampliar novas fronteiras, induzidos pela necessidade ou prazer. Para tanto, nessas buscas, o homem precisou dominar a arte de navegar, ou seja, dominar o conhecimento espacial do ambiente no qual ele está inserido. A evolução do conhecimento em navegação está tão intimamente relacionada com o conhecimento da forma da Terra e a dinâmica dos Astros que se confunde com a história da Geodésia, da Cartografia e da Astronomia de Posição.

Assim, concomitantemente ao avanço das geotecnologias, a arte da navegar vem experimentando grandes avanços. Isto pode ser verificado pelo uso dos métodos rudimentares de navegação na antiguidade, passando pela navegação astronômica, utilização da bússola, uso do astrolábio, dos radares e, atualmente, o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Entretanto, as necessidades da navegação não se restringem ao posicionamento. Na verdade, a navegação baseia-se na definição de rotas e no monitoramento do curso do veículo. Essa última atividade pode fornecer subsídios à alteração de rotas provocadas por circunstâncias que não foram previstas no planejamento.

Nesse contexto, o presente trabalho visa apresentar os resultados de testes iniciais de planejamento de rotas, realizados em um protótipo de sistema de navegação implementado com base na combinação de técnicas de Mapeamento, Computação Gráfica e Inteligência Artificial.

## 2 As Ferramentas do Sistema

### 2.1 O Mapa

O mapa é um dos instrumentos mais antigos de comunicação e de auxílio à locomoção que o ser humano desenvolveu e utiliza como instrumento de subsistência. A produção dos mapas passou por várias etapas. Inicialmente eram destacadas as representações de caráter ilustrativo, com informações geométricas rudimentares que mais pareciam um croqui. Atualmente, graças aos avanços da

micro- eletrônica e da informática, surgiram os mapas digitais, premiando a qualidade gráfica das informações planimétricas e altimétricas. Esses mapas possuem grande versatilidade, a qual é proporcionada pelo ambiente digital no qual dados pictoriais podem ser inseridos e atualizados facilmente. Por outro lado, os mapas por constituírem-se de modelos simplificados da realidade geográfica e representarem uma porção territorial limitada, pode oferecer alguma dificuldade para a interpretação das informações neles contidas. Nesse sentido, mesmo com os melhores mapas (digital ou não), em situações com grandes concentrações de vias, muitas dúvidas podem surgir na definição do trajeto correto.

## 2.2 Inteligência Artificial

Segundo Harmon e King (1988), a Inteligência Artificial (IA) é uma subdivisão da área da informática criada pelos pesquisadores na busca tanto do processamento simbólico como das soluções de problemas formuladas pelo homem. Neste sentido, os pesquisadores em IA preocupam-se em desenvolver sistemas de computador que produzam resultados que normalmente se associam à inteligência humana.

Segundo Schildt (1989), a IA é composta de várias áreas de pesquisa, das quais as mais comuns são: busca (de soluções); sistemas especialistas; processamento de linguagem natural; reconhecimento de padrão; robótica; aprendizado de máquina; lógica; incerteza e lógica nebulosa.

Nesse sentido, o protótipo implementado utiliza-se do conhecimento do ramo da IA que se preocupa em buscar solução para o problema de busca do "melhor" caminho entre dois pontos distintos (Ex: duas cidades, dois pontos numa cidade).

Para tanto, a solução pode ser representado por meio de **grafos**, os quais constituem estruturas inerentes a um tipo de estratégia de controle de busca. Por meio dessa estratégia é possível realizar buscas de melhor caminho. Entretanto, na medida que aumenta o número de locais ou pontos a serem visitados, aumenta o número de alternativas a serem examinadas (problema do caixeiro viajante) levando ao fenômeno denominado "explosão combinatória". Uma alternativa na busca da melhor resposta é a busca heurística, a qual fornece, quase sempre, uma resposta muito boa para o problema. Além disso, busca em grafos é comumente adotada em problemas de "roteamento" por evitar a geração repetida de um mesmo nó em um dos ramos.

Segundo Tenenbaum et al (1995), um grafo consiste de num conjunto de nós (ou vértices) e de um conjunto de arcos (ou arestas). Cada arco em um grafo é especificado por um par de nós. Um valor pode ser associado a um arco, caso isso ocorra é chamado de **grafo ponderado** ou **rede** e o valor associado de **peso**. Com o peso, atribuído no arco ou informação adicional nos nós pode se fazer o uso da heurística, ou seja, utilizar estes parâmetros (informações adicionais) como indicadores da direção a ser tomada.

## 2.3 Sistema de Posicionamento GPS

O GPS tem permitido grandes variedades de aplicações civis e militares (muito utilizado na guerra do Golfo – 1991, por exemplo). Seu grande potencial na viabilização de aplicações que envolvam o posicionamento rápido e acurado vem sendo explorado nas mais diversas áreas do conhecimento. O sistema é composto por uma constelação de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais localizados aproximadamente a 20000 km de altitude. Os sinais enviados pelos satélites GPS são capturados na superfície terrestre por equipamentos apropriados (receptores GPS), permitindo a determinação da posição 3D; solução que só é possível se pelo menos quatro satélites forem sintonizados simultaneamente pelo receptor (Figura 01). Atualmente, com a desativação da SA (Selective Availability), é possível obter acurácia da ordem de 10 m (2 Sigmas).

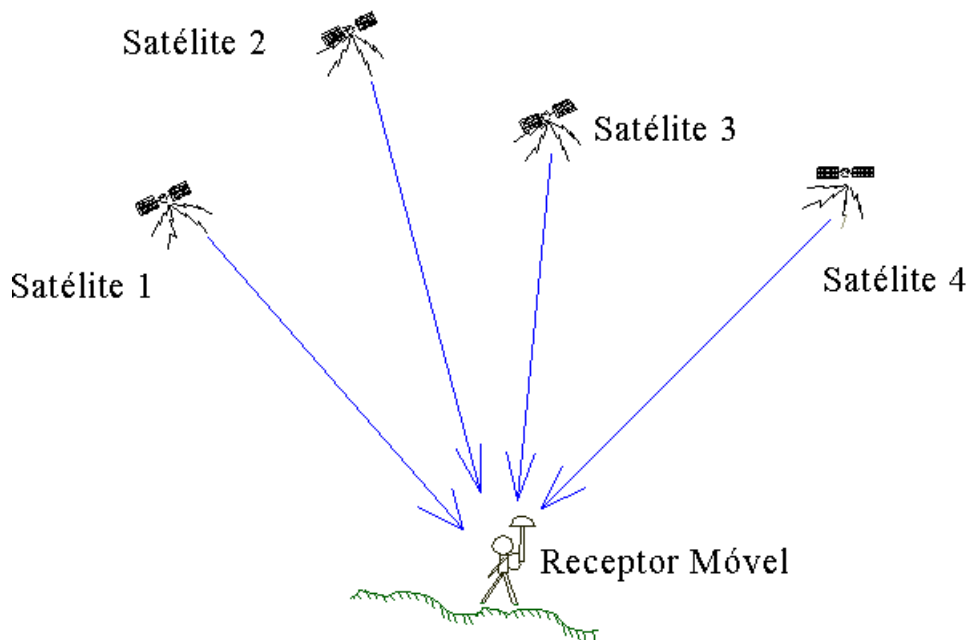


Fig. 1 : Posicionamento absoluto (por ponto)

## 3 Descrição do Sistema

Como as informações geográficas contidas no mapa não poderão suprir completamente as necessidades do usuário, devido à generalização cartográfica, faz-se necessário um sistema que o auxilie no processo de identificação, localização, orientação e posicionamento a partir do mapa digital. Nesse sentido, esse processo de interação automática usuário/mapa, em tempo real, pode ser realizado integrando-se o GPS com o mapa digital, gerenciado por uma rotina computacional. Essa forma de comunicação permite inúmeras aplicações. Assim, navegação, orientação e localização em tempo real são possíveis pela integração de mapa digital e GPS.

Hasegawa et al (1999), apresentaram um protótipo que representa as informações Geográficas com estrutura de um banco de dados e ferramentas de CAD, para identificar automaticamente a posição e localização de um ponto rastreado por GPS. No sistema desenvolvido a capacidade multitarefa do sistema operacional Windows foi explorada, sendo processadas simultaneamente duas rotinas. A primeira delas implementada em DOS, tem a função de fazer a comunicação entre o receptor GPS e o PC pela porta serial. A segunda rodando sobre o Windows, é responsável pela fase de gerenciamento do protótipo e visualização dos dados.

Neste trabalho pretende-se mostrar a implementação de um protótipo do sistema de navegação orientada, baseado no protótipo já desenvolvido anteriormente. A posição instantânea do veículo é mostrada na tela do computador, sobre um mapa da região, juntamente com a identificação automática do logradouro, indicando ainda a rota a ser cumprida para chegar ao destino. A identificação do logradouro é feita por buscas na base de dados e a definição da rota a ser seguida é feita por busca em grafos.

O protótipo a ser desenvolvido deverá ser processado em um computador portátil (*notebook*), o qual está conectado ao receptor GPS.

A base de dados geográficos do protótipo é formada por planos de informações. Dependendo das propriedades dimensionais das feições do espaço objeto e da escala de representação, pode-se utilizar diferentes primitivas gráficas. O protótipo desenvolvido considera apenas as primitivas, ponto e linha sendo implementadas por meio de estruturas vetoriais.

Os atributos das feições são armazenados em tabelas e relacionados à componente espacial através de identificadores. Um dos pontos críticos de sistemas desta natureza, é a geração e a manutenção da base cartográfica.

O esquema da Figura 02 mostra que deve ser feita a integração das informações provenientes da base de dados e do GPS (posição), obtidas em tempo real. Em função das necessidades do usuário e da disponibilidade do sistema pode-se fazer consultas específicas e, finalmente, fazer a visualização da base de dados com a posição instantânea do veículo, seja um automóvel, uma aeronave, uma embarcação, etc.

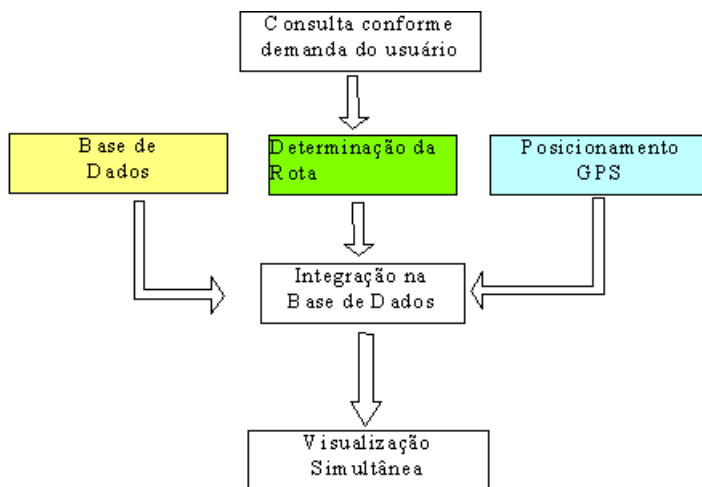


Fig. 3 : Estrutura básica de um sistema de posicionamento e locomoção.

Geralmente, as coordenadas dos pontos existentes na base de dados são referenciadas ao sistema plano retangular UTM no SAD-69. Por outro lado, as coordenadas geodésicas obtidas do rastreador são referidas ao WGS84. Desta forma, faz-se necessário (dependendo da escala de representação) à conversão de coordenadas e do Datum para SAD-69 (IBGE, 1998). No trabalho desenvolvido, o processo de conversão de coordenadas é acionado no módulo Posicionamento GPS, em linguagem Fortran.

### 3.1 Programas Desenvolvidos

Dentre as várias técnicas de busca por uma possível solução, foi implementada neste protótipo a busca em profundidade, devido a sua característica de sempre encontrar o destino.

Este protótipo foi desenvolvido de forma a adquirir coordenadas do receptor GPS e de um arquivo de dados geográficos. Assim, como a linguagem de programação deve oferecer as facilidades para elaboração de interfaces gráficas e manipulação de banco de dados, adotou-se a Linguagem Builder C++, por oferecer esses recursos e devido à familiaridade do grupo de pesquisa com o compilador.

O protótipo desenvolvido é composto por três módulos principais:

#### 1. Aquisição dos dados

##### a. captura do sinal enviado pelo receptor

Os receptores GPS transmitem sinais em diversos formatos. Um dos protocolos mais utilizados são aqueles desenvolvidos e padronizados pelo *National Marine Electronic Association* (NMEA). Dentre os formatos NMEA, pode-se ter várias versões, como por exemplo: NMEA 0180, NMEA 0182, e NMEA 0183, sendo que para cada modelo de receptor há pequenas diferenças no conjunto de caracteres transmitidos.

##### b. Gerenciamento dos dados geográficos

Os dados geográficos, incluindo atributos e topologia, devem ser obtidos de tal forma que a representação (vetorial) das feições descrevam, com fidelidade, a cena mapeada. A posição instantânea do veículo, obtida pelo GPS, deve ser mostrada na tela de um computador, sobre um mapa da região, juntamente com a identificação automática do logradouro. A identificação das vias é feita por buscas na base de dados, permitindo ao usuário identificar vias de interesse, as quais são realçadas na tela à medida que o veículo se movimenta

#### 2. Módulo de Visualização

O sistema de visualização representa, na tela do computador, as feições que descrevem um objeto ou uma cena, cujo processamento é realizado com recursos de computação gráfica. A descrição da área mapeada é representada numa porção da tela, através da representação de suas fronteiras, técnica denominada B-rep (*Boundary representation*), comum na área de

Computação Gráfica. Uma vez feita a visualização da base de dados, o ponto obtido pelo receptor GPS será mostrado na tela, sobre o mapa já apresentado.

### 3. Determinação da Rota

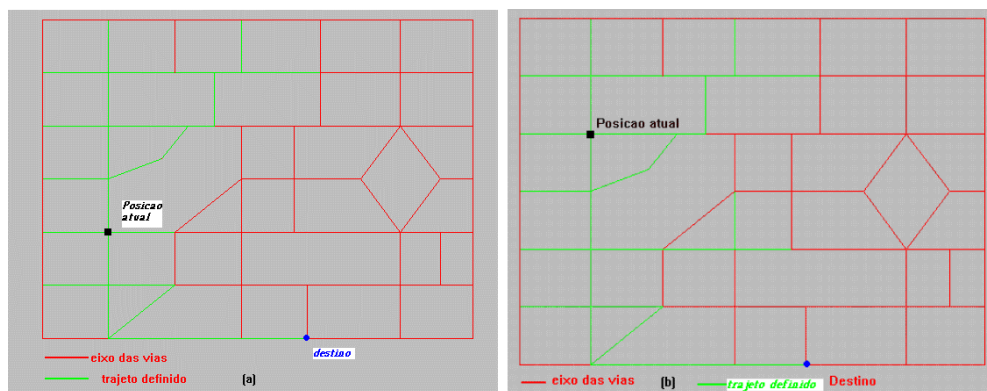
A aplicação de determinação da rota a ser seguida foi desenvolvida baseada nas técnicas da inteligência artificial, mais especificamente da teoria dos grafos. Para realizar os testes iniciais adotou-se a busca em profundidade, devido a sua característica de sempre encontrar o destino. Além disso, em casos mais simples, o problema de roteamento restringe-se a busca entre dois locais.

## 4 Validação Preliminar do Protótipo

O processo de validação do sistema foi realizado em duas fases distintas. O primeiro, de verificação dos erros semânticos de programação e o comportamento dos algoritmos, o processamento foi realizado com dados simulados de tal forma a atender a maioria das configurações de malhas de vias existente. A segunda fase, validação com dados reais, a região da FCT/UNESP – Presidente Prudente foi utilizada para testar o protótipo. Para tanto, foi necessário a obtenção de dados Cartográficos e alfanuméricos da região. Na geração da base de dados foram utilizados arquivos vetoriais no formato ASCII do Arc/Info e tabelas no formato do sistema Gerenciador de Banco de Dados.

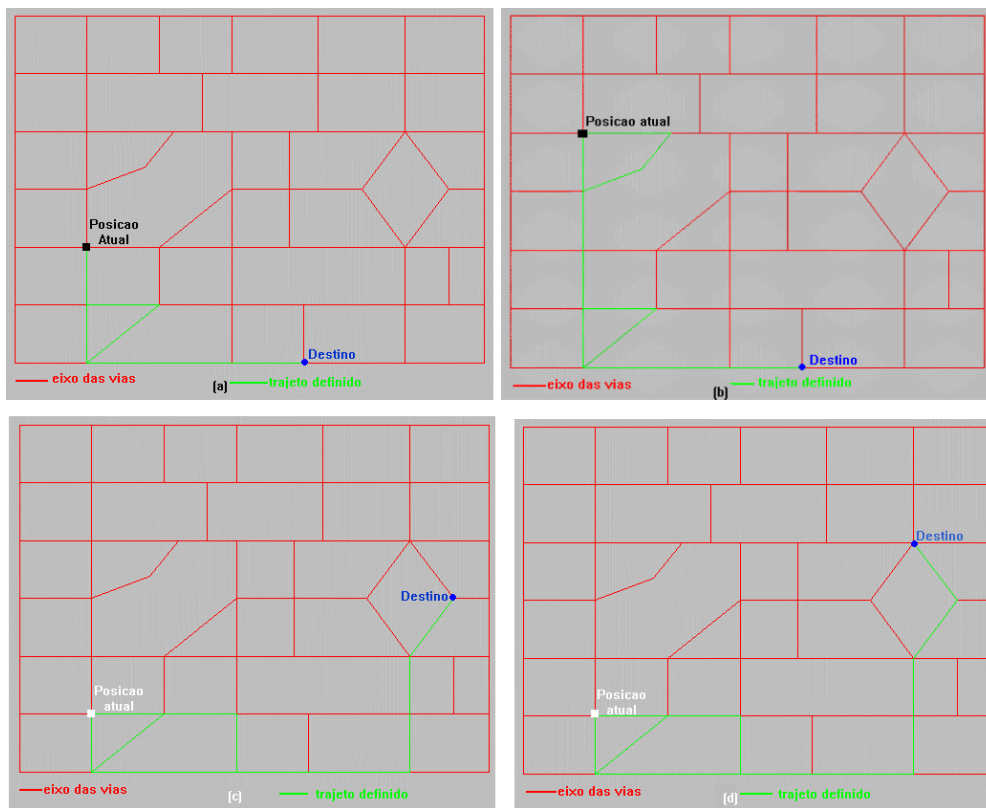
### 4.1 Processamento utilizando dados simulados

A técnica de **busca em profundidade** implementada, explora cada caminho possível até encontrar o objetivo ou nó terminal antes de tentar outro caminho. Este procedimento percorre a árvore à esquerda até encontrar o objetivo final. Caso encontre um nó terminal, retorna um nível e segue para direita e novamente segue à esquerda até encontrar o objetivo ou um nó terminal. Este procedimento garante encontrar o objetivo, no entanto, dependendo da configuração ou da posição do ponto (objetivo) pode-se degenerar no procedimento de busca exaustiva. A figura 03 representa, em destaque, a rota definida por esse algoritmo.



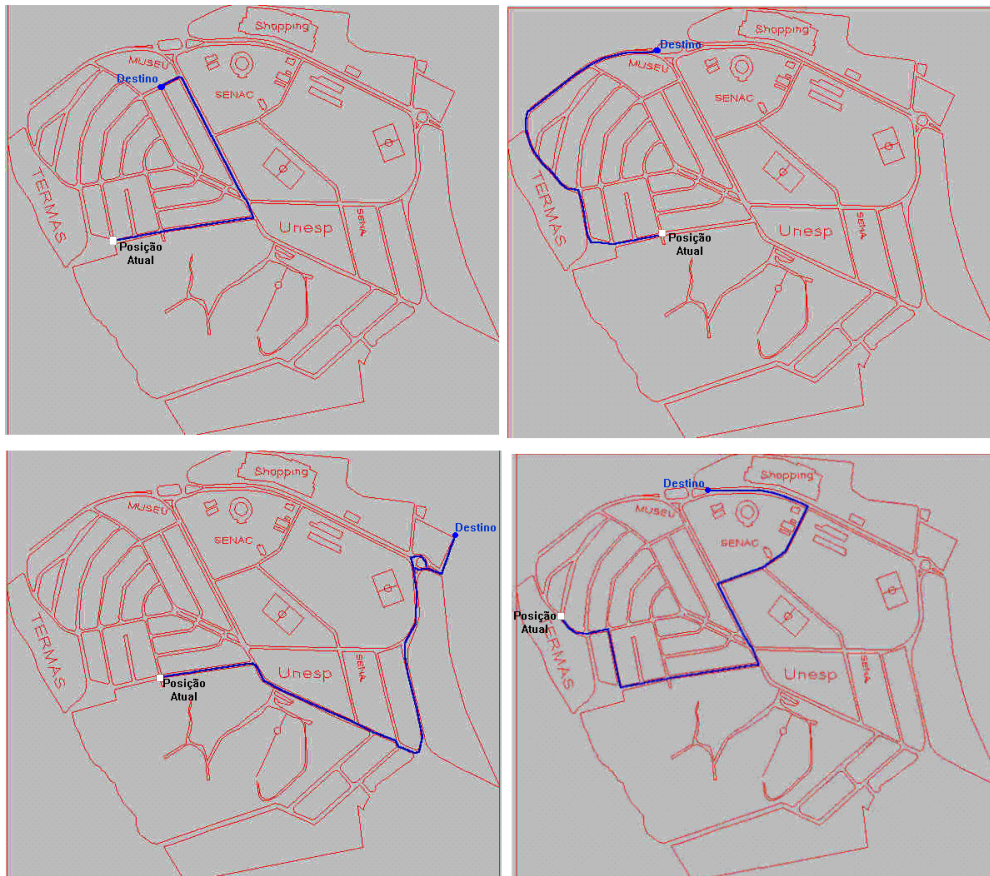
**Fig. 3 :** (a) e (b) – Dois exemplos de Rotas definidas entre dois pontos utilizando a técnica de busca em profundidade.

Na figura 03 estão representadas, pelas linhas verdes, as várias trajetórias/rotas definidas pelo algoritmo, ou seja, os caminhos selecionados na busca. Para selecionar as rotas que levam ao destino eliminam-se, inicialmente, as trajetórias que não conduzem ao local de interesse. O melhor caminho pode ser, então, obtido pela comparação do custo final das rotas restantes. Esta melhoria pode ser visto na figura 04, onde são mostradas as rotas para diferentes disposições de origem e destino.



**Fig. 4 :** Rotas definidas entre dois pontos utilizando a técnica de busca em profundidade com eliminação de trajetos inconsistentes, para quatro situações.

Na figura 05 é mostrada, como exemplo de aplicação, várias situações simuladas, cuja tela gráfica do protótipo desenvolvido, seleciona a trajetória, na cor azul, a ser seguida. Para tanto, a base de dados utilizada foi extraída de arquivos vetoriais no formato ArcInfo-ASCII e tabelas.



**Fig. 5 :** Tela do protótipo utilizado na navegação e orientação do veículo com quatro situações.

## 5 Considerações Finais

O protótipo apresentado, embora esteja em desenvolvimento, mostrou bons resultados, podendo ser útil em aplicações de apoio à logística de locomoção. Entre estas aplicações pode-se considerar:

- Controle da posição de veículos (muito interessante em caso de segurança de frotas rodoviárias, atendimento médico emergencial);
- Locomoção;
- Atualização de mapas rodoviários;

Como limitação do atual protótipo pode citar o problema da determinação de várias trajetórias, problema este que poderá ser solucionado pela comparação do custo final das rotas. Na comparação do "custo" final, para a obtenção da rota ideal pode-se associar a cada arco pesos relacionados a elementos como: distância, qualidade da pista (revestimento), fluxo de veículos e, até mesmo indicadores de beleza paisagística.

A rota definida pelo procedimento implementado, busca em profundidade, é dependente da estrutura do banco de dados (topologia da rede), conforme pode ser visto na figura 05. O algoritmo é finalizado no instante em que o nó Destino é encontrado. Uma das possíveis soluções, segundo Rich (1988), é a técnica denominada de *satisfação de restrições*, em que a meta é descobrir algum estado de problema que satisfaça um dado conjunto de restrições. Neste caso, poderia o nó que estivesse mais próximo do destino.

Cabe ressaltar que recentemente o sistema GPS teve uma melhora significativa no posicionamento por ponto, passando de uma precisão da ordem de 100 metros na determinação dos pontos para 5 ou 6 metros, com a eliminação da disponibilidade seletiva (SA). Na navegação e locomoção essa melhora na precisão eliminou as indefinições nas proximidades dos cruzamentos de vias, principalmente em áreas urbanas.

## 6 Referências Bibliográficas

**Blachut, T. J.; Chrzanowski, A.; Saastamoinen, J. H.**, *Urban Surveying and Mapping*, Springer-Verlag New York, 1979.

**Ferreira, I. Felipe Coutinho**, *Avaliação e Integração de Base Cartográficas para Cartas Eletrônicas de Navegação Terrestre*, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, 1998, 183 páginas.

**Hasegawa, J. K. , Galo, M., Monico, J. F. G., Imai, N. N.**, *Sistema de Localização e Navegação apoiado por GPS*, In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, CD - ROM. Recife – PE, 1999.

**IBGE**, *Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (Coletânea de Normas Vigentes)*, Preprint 1998.

**Macedo, F. C.; Campos, M. A.**, *Interfaceamento GPS/CAD em Tempo Real: um Estudo de Caso*, *Cartografia e Cadastro*, N° 8, 1998, pp. 45-51, Junho.

**Monico, J. F. G.**, *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*, publicação interna (Unesp/FCT), 1996, 182 páginas.

**Mortenson, M. E.**, *Geometric Modeling*, John Wiley & Sons Inc. , 1985, 763 páginas.

**Rich, E.**, *Inteligência Artificial*, McGraw-Hill, Ltda, São Paulo-SP, 1988.

**Shildt, H.**, *Inteligência Artificial Utilizando Linguagem C*, McGraw-Hill, Ltda, São Paulo, 1989.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FAPESP pela concessão dos seguintes auxílios:

- 98/10062-1 (modalidade auxílio à pesquisa), concedido ao Prof. Júlio Kiyoshi Hasegawa;