JOANA NICOLINI CUNHA

Metodologia de geração dinâmica de padrões de viagens rodoviárias para monitoramentos inteligentes de veículos de carga em sistemas AVL

São Paulo

2008

JOANA NICOLINI CUNHA

Metodologia de geração dinâmica de padrões de viagens rodoviárias para monitoramentos inteligentes de veículos de carga em sistemas AVL

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de concentração: Engenharia de Transportes – Informações Espaciais

Orientador: Prof. Marcos Rodrigues

São Paulo

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Marcos Rodrigues, por acreditar no meu trabalho, pela confiança e entusiasmo. Sempre serviu de inspiração e me fez abrir horizontes para novas áreas do conhecimento.

Aos professores José Alberto Quintanilha e Linda Ho, por me receberem e passarem suas experiências valiosas com grande disposição.

Aos professores Orlando Strambi, Cláudio Barbieri da Cunha, Edvaldo S. da Fonseca Jr, Hugo Pietrantônio, Jaime Waisman e Nicolau Gualda, por incentivarem meu desenvolvimento e esclarecerem questões cruciais.

Ao colega Paulo Celso, por me direcionar no entendimento do problema.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro no tempo em que me dediquei ao mestrado em período integral.

À equipe das empresas Enerconsult e Webb, que permitiram me ausentar quando necessário para realizar as atividades acadêmicas.

Aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP, Jun, Mariana, Alessandra, Olga, Luciano, Rodrigo, que contribuíram com grandes idéias e foram ótimos cúmplices.

Aos funcionários do departamento do PTR, por me atenderem com prontidão e disposição. À Simone, por me ajudar a desatar os nós burocráticos com atenção e bom humor.

Aos meus amigos, por me apoiarem e entenderem ausências. À Bianca e Paulo, que me incentivaram a continuar e à Camilla, pelo companheirismo de sempre e por oferecer sua casa.

À minha avó Lilian e ao meu avô Henrique, pelo carinho, sabedoria e sempre interesse pelas minhas idéias e conquistas.

À minha avó Ilka e ao meu avô Nilo, pelo eterno carinho, acolhedora lembrança, para momentos difíceis e alegres.

Ao meu irmão Leo, amigo e cúmplice de idéias e inquietudes. À minha irmã Daniela, por trazer alegria e energia.

Aos meus pais Cecília e Marcos, pelo amor e incentivo e por acalmarem minhas ansiedades. Agradeço terem me proporcionado condições de estudar e por hoje eu estar aqui.

Enfim, ao Felipe, companheiro e amor, para todas as horas. Sem seu apoio sincero não teria sido possível essa obra.

RESUMO

A presente dissertação traz a questão da aderência de viagens de veículos em monitoramentos inteligentes com sistemas *Automatic Vehicle Location* (AVL) que operam em rotas rodoviárias. Uma viagem é considerada como uma série de "passadas", que correspondem ao tempo em que o veículo está em movimento, mas excluindo os tempos gastos em paradas para atividades como carregamento/descarregamento entre outras. A partir de dados históricos coletados via *Global Positioning System* (GPS) pelo sistema AVL, uma metodologia de filtragem e aplicações estatísticas para geração das passadas é apresentada. Além disso, são propostos métodos para geração de padrões de viagem de referência, baseados em tempos de viagem e velocidades, desvios padrões, locais de descontinuidades entre outros parâmetros. A geração desses padrões em conjunto com procedimentos operacionais permite o monitoramento eficiente do progresso de viagens de frotas de veículos, para finalidades logísticas e de segurança. O progresso de um veículo ao longo de uma rota é analisado diante dos padrões de viagem de referência obtidos a partir de suas viagens prévias, de veículos similares na mesma rota ou de viagens em rotas de mesma classe, dependendo do que for mais adequado. A geração de padrões é um processo dinâmico que gera conhecimento sobre o veículo e comportamento da rodovia ao longo do tempo. Desenho do processo de monitoramento do progresso de viagem é apresentado, no qual, a cada nova coleta de dado GPS ou a cada instante solicitado pelo usuário, a aderência é medida, eventuais descontinuidades (saídas da rota, paradas ou mudança de sentido) são identificadas e avisos são gerados. Tal

aderência é definida por índice de desempenho que considera os desvios de tempo em relação a valores de referência e respectivas tolerâncias. Para experimentação da metodologia, foi realizada simulação de viagem na rodovia BR116 na ligação São Paulo – Rio de Janeiro, sobre base com cerca de 130.000 registros de dados GPS associados. Com integração em *Geographic Information System* (GIS) para suporte de funcionalidades, foram gerados os padrões de viagem e simulado o processo de monitoramento com sucesso.

Palavras chave: *Intelligent Transportation Systems* (ITS). *Automatic Vehicle Location* (AVL). *Global Positioning System* (GPS). *Geographic Information System* (GIS). Tempos de viagens. Monitoramento de frota de veículos. Logística.

ABSTRACT

This dissertation addresses the question of vehicle travel adherence in intelligent monitoring with Automatic Transportation Location (AVL) operating in a regional environment. A trip is considered as series of runs, corresponding to time in movement but excluding time spent on activities such as loading/unloading and others. Based on historic data collected from AVL/GPS a statistical data filtering method to generate the runs is presented. Furthermore, statistical methods are proposed to generate travel patterns based on travel time, speed, standard deviation and other parameters. The pattern generation together with operational procedures allows effective monitoring of large fleets in logistics and safety. The progress of a vehicle along a route is evaluated face to the statistical patterns of its previous successful trips or against statistical patterns of similar vehicles on the same route, whichever appropriate. The generation of patterns is a dynamic continuous process that generates knowledge on vehicle and road behavior along time.

A broad outline of the travel monitoring process is presented. Whenever the requested by user, the process calculates the travel adherence, identifies abnormalities and generates alarms. That adherence is defined by a performance index, which considers the travel time deviations from the reference values and the respective tolerances.

Successful experimentation was carried out on the Rio de Janeiro – São Paulo motorway, with 130.000 Global Positioning System (GPS) positional data relayed from trucks to a Geographic Information System (GIS) based monitoring system in Brazil.

Keywords: Intelligent Transportation Systems (ITS). Automatic Vehicle Location (AVL). Global Positioning System (GPS). Geographic Information System (GIS). Travel Time. Fleet monitoring.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - PARADIGMA DOS 4 UNIVERSOS. FONTE: CÂMARA, 2004 15
FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO DA TOPOLOGIA ARCO-NÓ. FONTE: (REPRESENTAÇÃO..., 2004) 17
FIGURA 3.1 – PROCESSO GERAL DE GERAÇÃO DE PADRÕES E MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGENS 26
FIGURA 3.2 - MODELO CONCEITUAL DE DADOS 31
FIGURA 3.3 – PONTOS FORA DA CERCA 34
FIGURA 3.4 – PONTOS DE PARADA 35
FIGURA 3.5– PONTOS DE MUDANÇA DE SENTIDO 38
FIGURA 3.6 – DIAGRAMA DE TEMPO X DISTÂNCIA DE PONTOS GPS EM UM SEGMENTO. ADAPTADO: (QUIROGA, 1998) 41
FIGURA 3.7– RESÍDUOS DA VELOCIDADE – DIFERENÇA ENTRE VALORES ORIGINAIS DE VELOCIDADE GPS E VALORES AGREGADOS EM SEGMENTOS AO LONGO DA ROTA. ADAPTADO: (QUIROGA, 1998) 44
FIGURA 3.8 – RELAÇÃO ENTRE TAMANHO DE SEGMENTO E DESVIO PADRÃO DOS RESÍDUOS DA VELOCIDADE PARA VIAS NORTE-AMERICANAS DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS E CONDIÇÕES DE CONGESTIONAMENTO. ADAPTADO: (QUIROGA, 1998) 45
FIGURA 3.9 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE CAIXA 50
FIGURA 3.10– FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM 53
FIGURA 3.11 – REPRESENTAÇÃO DE PONTOS "FORA DA CERCA". ADAPTADO: (DU, AULTMAN-HALL 2006) 57
FIGURA 3.12 – REPRESENTAÇÃO DE UMA PARADA. ADAPTADO: (DU, AULTMAN-HALL 2006) 58
FIGURA 3.13 – REPRESENTAÇÃO DE UMA MUDANÇA DE SENTIDO DO MOVIMENTO - ADAPTADO: (DU, AULTMAN-HALL 2006) 59
FIGURA 3.14 – PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM PARA ARCOS DE REDE 67
FIGURA 4.1 – MODELO DE DADOS PARA O MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGENS 76
FIGURA 4.2– FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGEM 79
FIGURA 5.1 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS GPS NO BRASIL, CORRESPONDENTES À BASE GPS GERAL 88
FIGURA 5.2 – BASE DE REDE VETORIAL RODOVIÁRIA BRASILEIRA, CONTENDO MALHA MUNICIPAL DE ALGUNS MUNICÍPIOS 89
FIGURA 5.3 – PONTOS GPS SOBRE REDE VETORIAL RODOVIÁRIA 90
FIGURA 5.4 – *ZOOM* DOS PONTOS DA BASE GERAL GPS NO ENTORNO DO EIXO SÃO PAULO – RIO DE JANEIRO 91
FIGURA 5.5 – PONTOS GPS CORRESPONDENTES AO VEÍCULO DA VIAGEM A SER SIMULADA (MARÇO A ABRIL DE 2008) 92
FIGURA 5.6 - TEMPO ACUMULADO DE VIAGEM X QUILOMETRAGENS NA BR-116 – VIAGEM A SER SIMULADA 93
FIGURA 5.7 – SISTEMA DE ROTAS DA BR116 95
FIGURA 5.8 – SELEÇÃO DOS PONTOS DA ROTA – *BUFFER* 500M 96
FIGURA 5.9 – PONTOS GPS – BR116-SP-RJ 97
FIGURA 5.10 – DIAGRAMAS DE CAIXA DO TEMPO DE PERCURSO POR SEGMENTO – SENTIDO B 108
FIGURA 5.11 - GRÁFICO DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS TEMPOS DE PERCURSO POR SEGMENTO – SENTIDO B – IC DE 95% PARA A MÉDIA 109
FIGURA 5.12 - GRÁFICO DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DAS VELOCIDADES POR SEGMENTO – SENTIDO B 110
FIGURA 5.13 – GRÁFICO DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DOS TEMPOS DE PERCURSO NOS SEGMENTOS - BR116 (SENTIDO B) – IC DE 95% PARA A MÉDIA 112
FIGURA 5.14 – DIAGRAMAS DE CAIXA DOS TEMPOS DE PERCURSO NOS SEGMENTOS - BR116 113
FIGURA 5.15 - MAPA TEMÁTICO DOS TEMPOS DE PERCURSO POR SEGMENTO AO LONGO DA BR116 – SENTIDO B 114
FIGURA 5.16 – MAPA TEMÁTICO DOS DESVIOS PADRÃO DOS TEMPOS DE PERCURSO POR SEGMENTO AO LONGO DA BR116 – SENTIDO B 115
FIGURA 5.17 – MAPA DE AVISOS DO MONITORAMENTO DA VIAGEM – SENTIDO B (SÃO PAULO – RIO DE JANEIRO) 120
FIGURA 5.18 – MAPA DE AVISOS DO MONITORAMENTO DA VIAGEM – SENTIDO A (RIO DE JANEIRO- SÃO PAULO) 121

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CLASSIFICAÇÃO DE RODOVIAS 46
TABELA 3.2 - TABELA DE PARÂMETROS DOS SEGMENTOS 63
TABELA 5.1 - EXEMPLO DE ESTRUTURA E ATRIBUTOS DAS BASES GPS 86
TABELA 5.2 - ATRIBUTOS DA TABELA DADOS - GPS 98
TABELA 5.3 – RESULTADOS DO ALGORITMO DE AGREGAÇÃO 103
TABELA 5.4 - QUANTIDADE DE PASSADAS POR SEGMENTO E SENTIDO – CASO 1 (VEÍCULO 68.918 SEM AS PASSADAS DA VIAGEM A SER SIMULADA) 106
TABELA 5.5 - QUANTIDADE DE PASSADAS POR SEGMENTO E SENTIDO – CASO 2 (TODOS OS VEÍCULOS SEM AS PASSADAS DA VAGEM A SER SIMULADA) 107
TABELA 5.6 - TABELA DOS ATRIBUTOS DOS PONTOS GERADOS DINAMICAMENTE A CADA NOVA COLETA DE PONTO GPS 116
TABELA 5.7 – TABELA DOS TIPOS DE AVISOS ASSOCIADOS AOS ESTADOS DO PROGRESSO DO VEÍCULO 117
TABELA 5.8 - TABELA DE MONITORAMENTO – MUDANÇAS DE ESTADO E AVISOS 118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 CARACTERIZAÇÃO/ JUSTIFICATIVA 1
1.2 OBJETIVOS 1
1.3 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS 2

2 FUNDAMENTAÇÃO 4

2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 4
2.1.1 Intelligent Transportation Systems (ITS) 4
2.1.2 Impactos dos tempos de viagem em transportes de carga e seu monitoramento 5
2.2 SISTEMAS DE POSICIONAMENTO GNSS 7
2.3 DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS COM USO DE DADOS EXTRAÍDOS VIA GPS 8
2.4 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE TEMPOS DE VIAGEM E MODELOS DE GERAÇÃO DE SUAS ESTIMATIVAS 9
2.5 IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PARADAS DE VIAGENS 13
2.6 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA 14
2.6.1 Representações 16
2.6.2 Modelo de Dados 18
2.6.3 Espaço x Tempo – Modelagem Dinâmica 19
2.7 SISTEMAS 20
2.7.1 Sistemas AVL 20

3 GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM 24

3.1 INTRODUÇÃO 24
3.2 PROCESSO GERAL 26
3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS 27
3.3.1 Base de dados GPS 28
3.3.2 Rede Rodoviária 28
3.3.3 Modelo de Dados 30
3.4 DEFINIÇÃO DE PASSADAS 32
3.5 AGREGAÇÃO 38
3.5.1 Agregação dos pontos GPS nos arcos da rodovia 39
3.5.2 Agregação em segmentos homogêneos 39
3.5.3 A questão da definição do tamanho do segmento 43
3.6 ASPECTOS ESTATÍSTICOS 47
3.6.1 Tamanho da amostra e parâmetros 47
3.7 PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES 51
3.8 CONSIDERAÇÕES E PREMISSAS 68

4 MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGENS DE FROTA DE VEÍCULOS 69

4.1 INTRODUÇÃO 69
4.2 ADERÊNCIA DO PROGRAMADO x REALIZADO 70
4.3 PROCESSO DE MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VEÍCULOS 74
4.4 CONTINUIDADES E SUBPRODUTOS 83

5 EXPERIMENTAÇÃO DA METODOLOGIA 85

5.1 DADOS UTILIZADOS 85
5.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS 87
5.3 VIAGEM A SER MONITORADA 90
5.4 SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM 94
5.4.1 Operações Espaciais em GIS 94
5.4.2 Passadas 98

5.4.3 Agregações e estatísticas *102*
5.5 SIMULAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE UMA VIAGEM 115
6 CONCLUSÃO 123
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 125
APÊNDICE A – CONCEITOS IMPORTANTES 129
ANEXO A - SISTEMAS DE QUILOMETRAGEM DA BR116 (RIO DE JANEIRO – SÃO PAULO) 131
ANEXO B – EXEMPLO DE ROTOGRAMA – BR116 (RIO DE JANEIRO SÃO PAULO) 137

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO/ JUSTIFICATIVA

Cada vez mais sistemas inteligentes são usados em problemas de transportes. Pela sua inerente relação com o espaço e tempo, o transporte envolve monitoramento e gestão do movimento. O monitoramento enquadra-se nos casos em que apenas se obtém informação sobre o estado do movimento, mas não se pode modificá-lo. Já, no gerenciamento, é possível atuar modificando esse estado.

Este trabalho representa um subsídio para aplicações de monitoramentos e gestão de movimento, em sistemas inteligentes de transportes, em particular o sistema *Automatic Vehicle System* (AVL). Nesses sistemas, as posições coletadas em tempo real são atributo importante, mas não o único que pode ser obtido.

Aplicações são desenvolvidas em tempo real ou sobre histórico dos atributos ligados ao movimento de veículos. Em se tratando desse histórico, a massa de dados gerada é muito grande, o que a torna importante fonte de conhecimento sobre os quais se podem identificar padrões de viagens para inúmeras finalidades e aprender sobre a dinâmica do movimento. Tais finalidades vão desde o planejamento de transportes, gerenciamento da infra-estrutura, logística, segurança, serviços ligados à localização entre outros.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é desenvolver metodologia de geração dinâmica de padrões de viagens rodoviárias, em escala regional, a fim de subsidiar processo de monitoramento inteligente do progresso de viagens de veículos de carga, em sistemas AVL. Esses padrões correspondem a valores esperados de tempos de viagem e velocidades e demais parâmetros usados como referência para

monitoramento de novas viagens, mas que também podem subsidiar suas programações.

A base de dados para aplicação dos métodos corresponde a posicionamentos históricos de veículos coletados via *Global Positioning System* (GPS) embarcado. Esses dados são integrados em *Geographic Information System* (GIS), o que possibilita operações de relação espacial e interface com demais processos do monitoramento de veículos.

É definida aderência entre valores esperados e realizados de tempo de viagem por indicador de desempenho, a ser medido dinamicamente a cada instante da viagem monitorada. Essa aderência considera o desvio do tempo real de progresso de uma viagem em relação ao tempo esperado de referência e respectiva tolerância.

Por fim, é proposto processo de monitoramento do progresso de veículo com os componentes necessários para seu funcionamento e sua integração com o processo de geração de padrões, uma vez que os dados gerados pelos monitoramentos retro-alimentam a geração de padrões.

Para experimentação da metodologia, são apresentadas simulações do monitoramento de uma viagem realizada na rodovia BR-116, via de ligação de São Paulo ao Rio de Janeiro. Para definição dos padrões dessa viagem, foi usada base de dados GPS de viagens realizadas nessa rodovia, referentes a dois períodos, um de fevereiro a março de 2007 e outro de março a abril de 2008, com um total em torno 130.000 registros.

1.3 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Para embasamento do trabalho, é apresentada fundamentação no **Capítulo 2.** Ela aborda o problema dentro do contexto dos sistemas *Intelligent Transportation Systems* (ITS). É feita revisão teórica dos sistemas de posicionamentos por satélite atuais, e suas aplicações em diversos estudos de transporte e logística, com foco no

sistema GPS. São apresentados estudos de estimação de tempos de viagem e demais parâmetros, com base em dados GPS. Realiza-se também uma revisão bibliográfica sobre Geoprocessamento, Sistema de Informação Geográfica e modelagem de dados espaço-temporais necessários para aplicações como a desse trabalho. Enfim, são feitas descrições sobre o sistema AVL, já que a aplicação aqui subsidia tais sistemas.

No **Capítulo 3**, é apresentado processo de geração de padrões de viagem de veículos que envolve execução de filtros e operações espaço-temporais para definição de "passadas", etapas de viagem em que o veículo está em movimento, delimitadas por descontinuidades, tais como paradas, saídas da rota e retornos. São também definidos os modelos para agregações de atributos dos pontos GPS em segmentos de rota e definições dos parâmetros do progresso da viagem para esses segmentos, tais como tempos e velocidades esperados, desvios padrões entre outros. Esses parâmetros servem como base de comparação para novos monitoramentos.

No **Capítulo 4**, é definida a aderência do progresso da viagem em relação ao esperado ou a uma programação pré-definida como índice de desempenho que depende do desvio entre tempo real e tempo esperado da viagem e da tolerância. O tempo esperado e a tolerância são gerados para cada segmento da rota no processo de geração de padrões. Apresenta-se então o desenho do processo do monitoramento de progresso de novas viagens, que a cada novo ponto coletado, determina o estado do veículo em termos de tempos de viagem, saídas da rota, paradas e mudanças de sentido. São apresentados os componentes do aplicativo bem como sua integração com o processo de geração de padrões.

No **Capítulo 5**, há uma experimentação da metodologia, aplicando-se os processos de geração de padrões de viagem e simulação do monitoramento para uma viagem na BR-116, na ligação de São Paulo ao Rio de Janeiro.

No **Capítulo 6**, a conclusão é apresentada resumindo os pontos importantes do trabalho, seus resultados, continuidades e novos desafios.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

2.1.1 *Intelligent Transportation Systems* (ITS)

Recentemente na literatura e em aplicações práticas têm-se construído os conceitos de *Intelligent Transportation Systems* (ITS). Os problemas de transporte e suas relações com logística, segurança são antigos. Bem como o fato de que a necessidade de transporte é derivada de atividades, ou seja, o transporte é realizado para cumprir diversas finalidades, que se tornam cada vez mais diversificadas e sofisticadas com o tempo. A novidade está no acompanhamento cada vez mais próximo (em tempo real), no controle e nas interferências que se podem realizar nas diversas etapas de transporte, com impactos em logística e nas atividades fins. Esses processos são possíveis pelo desenvolvimento tecnológico de sistemas de posicionamento, entre outros dispositivos, e aplicação de processos mais inteligentes, que geram grande quantidade de informações e dinamismo.

Os sistemas ITS podem focar aspectos ligados aos veículos, viagens, tráfego ou vias, em transportes de carga ou passageiro nos diversos modos e finalidades. Podem ainda operar com dados coletados em tempo real ou trabalhar com históricos de atributos ligados aos objetos de interesse.

Se considerarmos veículos rastreados como objetos móveis, os sistemas *Automatic Vehicle Systems* (AVL) foram muito disseminados com foco na obtenção, transmissão e gerenciamento de posicionamentos via satélite. Rodrigues (2008) refere-se aos AVL como sistemas que prosperaram pela necessidade de segurança, mas com posterior entendimento de que cada vez mais é possível aplicar a informação de posicionamentos na melhoria de processos logísticos associados, como verificado em seus comentários:

> A Logística, claro, já existia há tempos, o ganho foi conduzi-la em tempo real, interferindo em processos, atrelado à dinâmica do mundo real. Nessas novas aplicações, há a otimização da programação e da atuação sobre os processos de transporte, há a comunicação bidirecional com o veículo. A posição é apenas um item de informação, mas importante parte de um complexo maior. (RODRIGUES, 2008b)

Rodrigues (2008) comenta ainda o aparecimento de dois tipos de aplicação: os *Transportation Management Systems* (TMS), que integra à logística os atributos dos veículos, não coletados em tempo real, e a Telemetria, que trabalha com atributos adquiridos em tempo real. O primeiro lida com dados desde o consumo de combustível ao acompanhamento da vida média dos pneus. No segundo, dados como rotação do motor, uso do freio, temperatura do motor, uso do câmbio, entre outros, geram ganhos na forma de utilização do veículo.

Toda essa evolução tecnológica está inserida no contexto dos ITS. De acordo com a passagem de Rodrigues (2008), verifica-se a abrangência desses sistemas, nos quais os dispositivos tecnológicos podem estar embarcados em veículos ou alocados ao longo da infra-estrutura de transportes:

> O importante é que em torno de componentes embarcados compostos de sensores, atuadores, sinalizadores, processadores e comunicadores criam-se aplicações complexas em transporte de carga, de passageiros, em navegação, em resgate, em serviços médicos, em manutenção, em operações intermodais e inúmeras outras. Estas aplicações convivem sob a sigla (!) ITS (Intelligent Transportation Systems) que na verdade cobre um campo bem maior, pois incorpora ainda aplicações em que sensores, atuadores, sinalizadores, processadores, e comunicadores também estão presentes na infra-estrutura de transportes. (RODRIGUES, 2008b)

Nesse contexto, os *Intelligent Transportation Systems* (ITS) ou A*dvanced Traveler Information Systems* (ATIS) contemplam um conjunto de sistemas para alcançar tal abrangência.

2.1.2 Impactos dos tempos de viagem em transportes de carga e seu monitoramento

O tempo de viagem, associado ao espaço, é um parâmetro importante na logística e em viagens de carga. Segundo Baloou (2004), “o valor da logística é manifestado

primariamente em termos de tempo e lugar. Produtos e serviços não têm valor a menos que estejam em poder dos clientes quando (tempo) e onde (lugar) eles pretendem consumi-los".

Cada vez mais, os procedimentos logísticos operacionais buscam o *just-in-time* e continuada reposição de estoques para atender às crescentes exigências dos clientes. Baloou (2004) afirma que "Freqüentes estudos comparativos comprovaram que o tempo médio e a variabilidade do tempo da entrega estão sempre nos primeiros lugares das relações das mais importantes características de desempenho do transporte." Nesse contexto, a busca por metodologias e dados mais precisos para definição de tempos esperados de viagem e da variabilidade associada são fundamentais, visando melhoria contínua do desempenho do transporte.

Nas áreas logísticas e de segurança, especificamente para os processos de monitoramento de viagens de carga e tomada de decisão, é cada vez mais importante a antecipação de eventos que possam ocorrer durante a viagem. Em termos logísticos, atrasos no seu decorrer podem gerar impactos operacionais ao longo de vários elos da cadeia logística. Existem trabalhos recentes na literatura que discutem a importância de informações em tempo real sobre processos de transporte e as conseqüências desses atrasos nas operações logísticas (HAUGHTON, 2006). Já no estudo de Batley (2006), são determinados custos relacionados a incertezas e imprecisões nos tempos de viagem. Em termos de segurança, faz-se cada vez mais necessário o gerenciamento de riscos de roubo e dano à carga, ao veículo ou aos indivíduos.

Do ponto de vista de quem gerencia os veículos/carga, informações sobre padrões de viagem para obtenção de previsões de tempos de viagem, velocidades, tempos e locais de paradas constituem uma contribuição direta por subsidiar e melhorar o monitoramento de veículos. Além disso, processos eficazes de monitoramento do transporte de frotas de veículos de carga, associados à melhoria continua dessas previsões, são de grande interesse e são abordados nesse estudo.

2.2 Sistemas de Posicionamento GNSS

É notável o acelerado avanço tecnológico recente no desenvolvimento de sistemas de posicionamento por satélite. Fatores como melhoria contínua da precisão das posições coletadas e miniaturização dos receptores têm contribuído na integração de demais tecnologias e sistemas para aplicações diversas.

O sistema americano *Global Positioning System* (GPS) é o mais difundido atualmente, originalmente foi criado para uso militar, mas na década de 1980 teve liberação para uso civil. Ele calcula a posição baseado em coordenadas geodésicas referentes ao sistema *World Geodetic System 94* (WGS84), tornou-se totalmente operacional em 1995 e opera hoje com 27 satélites. Outros sistemas de abrangência global, similares ao GPS, foram criados como o soviético *Global Navigation Satellite System* (Glonass) e os europeus Galileo e *European Geostationary Navigation Overlay Service* (Egnos). Surgiram ainda os sistemas de amplitude regional como o japonês *Quasi-Zenith Satellite System* (QZSS) e o indiano *GPS and Geo Augmented Navigation* (Gagan). O conjunto desses sistemas, normalmente desenvolvidos por país ou região, compõe o *Global Navigation Satellite System* (GNSS). O que têm em comum é a capacidade de geração de dados de localização (coordenadas x, y e z) e horário com alta acurácia. (BUENO, 2007).

Quando o posicionamento coletado é absoluto, a precisão das coordenadas é aproximadamente 15 metros, na maioria dos casos, mas tende a diminuir, principalmente após a implantação do Galileo. (BUENO, 2007). Os fatores que influem nesses erros são ionosfera, troposfera, multicaminhamento sincronismos de relógios e diluição da precisão devido à geometria dos satélites na hora do rastreio.

A técnica de posicionamento para obtenção das coordenadas GPS aplicado em sistema de navegação, sistemas AVL, por exemplo, é cinemática, ou seja, as observações são realizadas com o receptor em movimento. Além disso, na maioria dos casos é absoluta, uma vez que não há levantamentos de referencial e/ou pós-processamentos, estando os erros desse método na ordem de grandeza de 10 a 15 metros. (FONSECA JÚNIOR, 2004).

2.3 Desenvolvimento de estudos com uso de dados extraídos via GPS

Na literatura, emergem estudos que se utilizam de dados extraídos por GPS para diversas finalidades em planejamento de transportes, gerenciamento da infra-estrutura, estudos de congestionamentos, logística, segurança entre outros.

A frente desses estudos, aplicados ao planejamento de transporte de passageiros, costuma apresentar como intuitos identificação e geração de padrões de comportamentos. Wolf (2004) descreve algumas aplicações de tecnologias baseadas em GPS e ressalta o poder dessas ferramentas em coletar dados referentes a vários dias e períodos, continuamente. O trabalho faz uma descrição geral de estudos, focados no transporte de passageiros, mas que mostra muito da potencialidade dessa tecnologia.

Já os estudos com dados GPS relacionados ao gerenciamento da infra-estrutura de transportes e de congestionamentos visam definir parâmetros de viagem tais como: tempos, velocidades e paradas, índices de desempenho do sistema entre outros. Aplicações vêm sendo desenvolvidas para transformar esse tipo de dados em informações úteis para o gerenciamento de vias e para os usuários dos sistemas viários. Nesse caso, os parâmetros de tempos de viagem e velocidades são, na maioria das vezes, associados aos diversos trechos rodoviários.

Um exemplo é o estudo de Quiroga (2000), que desenvolveu metodologia de integração de GPS e *Geographic Information System* (GIS) em estudos de tempos de viagem e medidas de desempenho para sistemas de gerenciamento de congestionamento. Similarmente Taylor (2000) apresenta estudo de caso em rotas da região metropolitana de Adelaide, no sul da Austrália. Ele integra dados GPS ao sistema (GIS), com foco na medição de níveis de congestionamento, além de definir diversos indicadores relacionados aos atrasos, tempos de parada, congestionamento etc..

Do ponto de vista do monitoramento de trânsito, Rocha (2006) desenvolveu trabalho que apresenta parâmetros para aplicação de GIS para monitoramento de trânsito em tempo real no município de Belo Horizonte, baseado em dados dinâmicos em

ambiente GIS. Esses dados são úteis para diagnósticos do comportamento de tráfego para fins de planejamento e de prestação de serviço à população que podem consultar informações das rotas de interesse com suas condições de tráfego via internet ou celular, em tempo real.

Na área de logística, o monitoramento de veículos por sistemas AVL, que se utilizam da tecnologia GPS, vem trazendo muitos benefícios em termos de informação em tempo real. Ele gera grande quantidade de dados de forma contínua o que representa um potencial de extração de informações úteis para diversos estudos de transporte e logística, o que evidencia a importância do desenvolvimento de métodos/ técnicas eficazes de tratamento desses dados. Esses dados muitas vezes mascaram relações e padrões de comportamento que poderiam ser identificados, porém, na maioria das vezes, são simplesmente descartados sem uma exploração prévia.

2.4 Técnicas de medição de tempos de viagem e modelos de geração de suas estimativas

Técnicas e modelos de geração de tempos de viagem e velocidades, a partir de dados GPS, correspondem a aplicações crescentes para finalidades de transporte e logística, conforme discutido no item anterior.

Du (2006) comenta sobre a diversidade de finalidades que os modelos de geração de tempos de viagem dos trechos de rede viária podem ter. Além de representarem medidas importantes das condições de tráfego e de desempenho do sistema, são fatores em estudos de padrões de escolha de rota, pois a minimização de tempo de viagem tem sido o critério de decisão de rota mais importante na maioria das situações. Em seu estudo, apresenta metodologia para estimação de tempos de viagem em arcos (*links)* da rede rodoviária.

Uma boa classificação das técnicas para medir tempos de viagens é a apresentada por Quiroga (1998), que define dois grupos: *Roadside Techniques* e V*ehicle*

Techniques. Segundo ela, as *Roadside Techniques* são baseadas no uso de detectores fisicamente localizados ao longo de rotas de interesse, em intervalos pré-definidos. Eles obtêm os dados de tempos de viagem de veículos que atravessam a rota, registrando o tempo em que passam pelos pontos de verificação.

Os sistemas *Automatic Vehicle Identification* (AVI) são exemplos de *roadside techniques* que prevê o uso de *transponders* instalados nos veículos (tags), leitores localizados ao longo da rodovia, e uma rede de comunicação para transmitir as informações a uma central de operação. Os dados da leitura desses detectores são usados em estudos de geração de tempos de viagem.

Ainda na classificação de Quiroga (1998), *Vehicle Techniques* são baseadas no uso de detectores embarcados nos veículos. Os sistemas AVL estão incluídos nessa categoria. O *Probe Vehicle*, veículo de teste com equipamento de posicionamento embarcado que se movimenta ao longo das vias coletando dados de interesse (posição e tempo principalmente) e funciona como um detector móvel é a técnica mais comum do grupo das *Vehicle Techniques*. (CHEN, 2001). Ela é usada para levantar dados de tempos reais de viagem, nos principais corredores rodoviários (DU, 2006). A partir dessas medidas, são realizadas estimativas com acurácia relacionada ao número de veículos rastreados.

Pesquisas de Quiroga (1998) demonstraram a viabilidade de usar as tecnologias de GPS e GIS para automatização da coleta de dados, redução e disponibilização com uso de *Probe Vehicle*. Ele pode gravar uma série de dados como tempo de viagem, velocidade, distância percorrida, posicionamentos, velocidade instantânea, consumo de combustível, etc. Na maioria dos estudos, ele é programado para levantar tais informações em um período de menos de 10 s entre pontos consecutivos.

Na maior parte dos estudos que envolvem *Probe Vehicles*, apenas um veículo é usado para caracterizar o fluxo de tráfego ao longo de uma direção de viagem específica. No entanto, estudos mais recentes utilizam mais de um veículo monitorados. Enfim, ainda Quiroga (1998) constata a necessidade de uma agregação dos atributos dos pontos GPS em segmentos viários, ao invés de usar diretamente os dados pontuais, para facilitar a manipulação e interpretação. Esse tipo de agregação também é aqui realizado, conforme descrito adiante. Já Du (2006)

apresenta agregação em arcos de rede (*links*) percorridos pelos veículos em vez dos segmentos de rota.

Segundo Chen (2001), uma vantagem do uso de *Probe Vehicles* para medir diretamente os tempos de viagem é que tais medidas são mais próximas da realidade, em relação ao uso de detectores fixos para medições e conversões dos dados em informações de tempo. Isso é acentuado pelo fato dos tempos de viagem ser afetados por diversos fatores. Os fatores variáveis correspondem ao volume de veículos das vias (reflexo da demanda por transporte), acidentes, tipo de veículo. Já os fatores fixos tratam-se das condições geométricas, limite de velocidade, entre outros, que se referem a características da rodovia. Chen (2001) discute ainda quanto à dificuldade de modelar a relação entre todos esses fatores, especialmente em condições de tráfego próximas ou superiores à capacidade.

Apesar de ter propósito diferente, a metodologia aqui proposta lida com o mesmo tipo de dados da técnica de *Probe Vehicle*, com a diferença de trabalhar com freqüência de coleta de dados menor (um ponto coletado a cada 3 minutos, em média). No entanto, como o sistema pode monitorar muitos veículos ao mesmo tempo, esses dados podem ser usados juntos para definição dos padrões, de modo a minimizar a ausência dos pontos adicionais gerados em frequências maiores de coleta. Como referência, nas simulações apresentadas, a base de dados refere-se a 10.087 veículos em viagens pelo Brasil, com cerca de dois milhões de pontos GPS coletados. Se expandirmos essa amostra para o ano inteiro, constata-se a magnitude da massa de dados.

O presente estudo assemelha-se com aqueles em que os veículos fazem suas escolhas e caminhos em vez dos que usam detectores ou veículos dedicados para apenas uma rota e períodos de tempo definidos. A vantagem é que os dados usados aqui se referem a uma quantidade de *links* (arcos) de rede maior e em mais variados horários do dia. Há uma série de trabalhos que visam determinar a porcentagem de *probes* ideal com sua freqüência para obtenção de estimativas de tempos de viagem confiáveis. (CHEN, 2001)

Um estudo recente de destaque, mais próximo do presente, é o elaborado por Mccormack e Hallenbec (2005). Nele, há desenvolvimento e testes de metodologias

de coleta de dados para medições do movimento de caminhões em vias pré-selecionadas visando melhorias da mobilidade de frotas. Ele visa gerar referências e padrões incluindo variabilidade de velocidades e estatísticas volumétricas para priorizar potenciais projetos de melhorias viárias e medir resultados de projetos já implantados. Para isso, o estudo concentrou nas técnicas de coleta por *transponders* eletrônicos *Commercial Vehicle information System and Networks* (CVISN) e GPS. Como ele partiu de iniciativa governamental, houve um recrutamento de empresas de transportes e a instalação de 25 dispositivos para o método de coleta de dados GPS. Foi enfatizada necessidade de se ter quantidade suficiente de caminhões equipados percorrendo os segmentos rodoviários de interesse, para garantir a obtenção desses padrões de referência. Diante disso, foi ressaltada a importância da colaboração de tais companhias em fornecer os dados. Nesse trabalho, são gerados resultados com informações que podem beneficiar as empresas transportadoras além do governo.

Ainda no estudo de Mccormack e Hallenbec (2005), obtêm-se duas medidas de desempenho, uma relacionada às viagens e outra aos segmentos de via. Na primeira, o objetivo é rastrear os efeitos de congestionamentos nos tempos de entrega de produtos bem como na previsão desses eventos. Já a medida de desempenho dos segmentos rodoviários é importante, segundo o estudo, para descrever mudanças específicas resultantes de projetos e para prover valores de referência. Alguns dos conceitos usados na metodologia para obtenção dessas medidas são aqui aplicados. Exemplo é a divisão de viagens (*trips)* em origem/destino, conceitos de parada, uso da mediana no lugar da média para estimação dos tempos, retirada de pontos correspondentes a saídas da rota e algoritmos para agregação em segmentos, entre outros.

O estudo de Taniguchi, (2004) aborda roteirização dinâmica e programações com tempos de viagem variáveis baseados em sistemas inteligentes de transportes, que coletam informações de tráfego em tempo real mais especificamente tempos de viagem variáveis. As incertezas dos tempos de viagem afetam a identificação da melhor rota e programações de entregas e coletas em vias muito congestionadas. Ele enfatiza que os sistemas AVL e AVI permitem companhias de transportes usarem dados históricos ou dados em tempo real em vias urbanas. Além disso,

quantifica os benefícios de considerar a incerteza dos tempos de viagem no intuito e racionalizar sistemas logísticos.

2.5 Identificação automática de paradas de viagens

Outro padrão de viagem que importa conhecer é a identificação automática de uma parada (origem/destino de viagens). Apesar de não ser o único, um dos parâmetros que pode ser usado para essa identificação é o *dwell time*, tempo em que o veículo está estacionado. A definição prévia do *dwell time* representa o limite de tempo acima do qual se pode afirmar que ocorreu parada com finalidade associada.

Doherty et al. (2001) propõe algoritmo que usa o *dwell time* em conjunto com outras análises espaciais para se determinar as paradas. De forma geral, calcula o número de pontos dentro de um raio em torno dela e compara com valor de referência, considerando que a freqüência de coleta é fixa e definida. Por exemplo, define que para uma parada de cinco minutos, ocorrem sessenta pontos registrados aproximadamente, considerando freqüência de coleta de cinco em cinco segundos. Se o veículo estivesse progredindo em deslocamento, não haveria esse número de pontos localizados tão próximos. O estudo menciona ainda que a maior dificuldade do algoritmo está em diferenciar paradas muito curtas, mas com finalidade, das paradas relacionadas às condições viárias como sinais de tráfego ou congestionamentos.

Du e Aultman-Hall (2006) desenvolveram outro estudo interessante com essa finalidade. Também ressalta que o mais difícil está em diferenciar paradas rápidas, como embarque de passageiro. No entanto, pelo estudo ter caráter urbano, o *dwell time* de referência usado foi de apenas 20 segundos. Esses valores são bem inferiores aos usados na presente experimentação (rodovia BR-116 no trecho de Rio de Janeiro a São Paulo), por não se adequarem à realidade dessa rodovia e das regiões metropolitanas das cidades que ela atravessa.

Definem-se aqui as paradas, saídas da rota e mudanças de sentido como interrupções de “passadas”, conforme explicado mais adiante. Para determinações do início/término dessas passadas, propõe-se um modelo heurístico que identifica e combina esses casos.

2.6 Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica

O conceito de Geoprocessamento é amplo e teve evolução de suas aplicações a partir da década de 60. Rodrigues (1990) define Geoprocessamento como “conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais, de desenvolvimento, e uso, de sistemas que as utilizam.” Ele afirma ainda que as diversas áreas que utilizam as tecnologias do Geoprocessamento têm interesse por entes de expressão espacial, sua localização, ou distribuição, ou ainda a distribuição espacial de seus atributos. Há definições que se referem a tais técnicas como matemáticas e computacionais.

Os sistemas de informação relacionados ao Geoprocessamento, Sistemas de Informação Geográfica (GIS[1]), também apresentam inúmeras definições. Todas elas incluem dados espaciais e associação entre dados espaciais e mapas. Há desde definições mais antigas, como as mais recentes que vão incorporando novos conceitos a partir de novas aplicações. Câmara et al. (2004) consideram os GIS como ferramentas computacionais do Geoprocessamento, que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados geo-referenciados.

Focando no que o GIS é capaz de realizar, as definições o estabelecem como um sistema de computação que inclui: hardware, software e procedimentos apropriados. Resumindo, GIS é um sistema capaz de agregar valor à informação espacial. Isso pode ocorrer por meio de eficiente organização e visualização, pela integração com

[1] Nesse trabalho é utilizada sigla GIS (*Geographic Information System)* para se referir aos sistemas de informação geográfica, pelo uso consagrado deste jargão

outros dados ou pela análise e criação de novos dados. Assim, o sistema gera informação útil de suporte à tomada de decisão.

O presente trabalho corresponde a aplicações computacionais na área de transportes, com sua relação direta com o espaço, portanto lidando com informações espaciais. Ele prevê utilização de GIS para tratar, aplicar algoritmos matemáticos e representar tais informações.

É importante apresentar o conceito do "paradigma dos quatro universos" proposto por Gomes e Velho (1995) apud Câmara et al. (2004), para entender o processo de representação do mundo real para o ambiente computacional:

- **universo do mundo real**: entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- **universo matemático (conceitual)**: inclui uma definição matemática (formal) das entidades a ser representadas;
- **universo de representação**: onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador;
- **universo de implementação**: onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, baseados em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que acontece a codificação.

A Figura 2.1 representa esses conceitos.

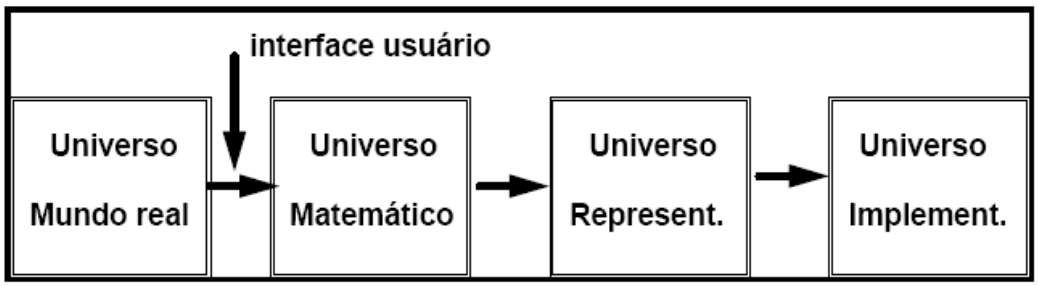


Figura 2.1 - Paradigma dos 4 Universos. Fonte: CÂMARA, 2004

2.6.1 Representações

No contexto do paradigma dos quatro universos, para que a realidade possa ser representada, é necessário que a realidade do universo do mundo real possa ser traduzida para o ambiente computacional, passando pelos universos matemático, de representação e de implementação.

Primeiramente, devem ser definidos quais entes e o tipo de dados associados a eles devem ser representados. Em termos do universo conceitual, no processo de abstração, o espaço do universo real pode ser visto por uma composição de campos ou objetos. Nos campos, o espaço é considerado contínuo e nos objetos, considerado discreto onde são representados apenas os entes de interesse. Para o presente trabalho, foi definido o modelo de objetos (discretos), para representação das rodovias, rotas, intersecções de rede entre outros elementos.

No universo de representação, são feitas as associações das entidades às representações geométricas que variam conforme escala e projeção cartográfica escolhida. Nesse processo deve ser escolhida qual classe de representação deve ser usada, a vetorial ou a raster.

A representação raster consiste na subdivisão da superfície em um conjunto de figuras geométricas básicas que cobrem completamente a superfície sem falhas ou sobreposições. Já na representação vetorial, os domínios espaciais são representados por conjuntos de traços, deslocamentos ou vetores, adequadamente referenciados. (REPRESENTAÇÃO..., 2004). Essa representação pode ser em ponto, linha ou polígono, além de possuir ou não topologia. A topologia são as propriedades geométricas que não variam mediante uma deformação e denotam a estruturas de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência, conectividade, adjacência, entre outras) que pode se estabelecer entre objetos geográficos. Para definir a topologia em GIS é empregada estrutura especial de dados que utiliza três tipos de representações:

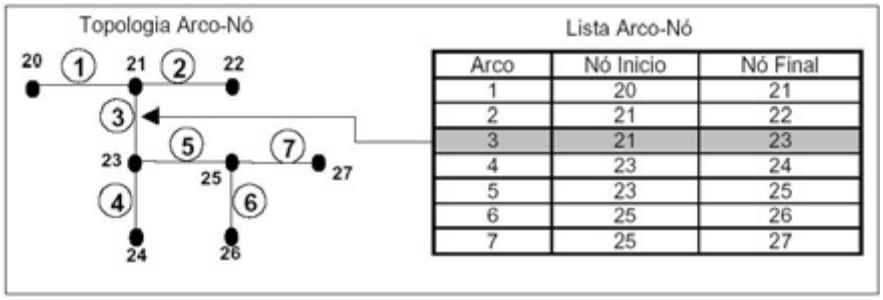
- Nó: um ponto delimitador de uma linha ou um ponto de intersecção de duas ou mais linhas;

- Arco: qualquer porção de linha delimitada por dois nós;
- Vértices: pontos ordenados entre dois nós, que definem a forma dos objetos.

A conectividade é um componente da topologia relacionado ao fluxo ao longo das linhas, esta propriedade é de fundamental importância para operações de análise realizadas em redes, como por exemplo:

- Operações de escolha de melhores caminhos;
- Planejamento de rotas;
- Medidas de vazão em corpos de água;
- Fluxo em dutos

A topologia que mais interessa a esse estudo é a arco-nó representada pela Figura 2.2.



Arco	Nó Inicio	Nó Final
1	20	21
2	21	22
3	21	23
4	23	24
5	23	25
6	25	26
7	25	27

Figura 2.2 – Representação da Topologia Arco-Nó. Fonte: (REPRESENTAÇÃO..., 2004)

As redes rodoviárias desse trabalho foram representadas pelos arcos de redes conectados por nós, onde os arcos correspondem aos trechos rodoviários delimitados pelos nós relacionados às intersecções com outras vias.

Há aplicação de funcionalidades GIS associadas a alguns modelos de transporte, como os sistemas de referência linear (SRL) e a segmentação dinâmica. O SRL é usado para gerar a localização dos elementos ao longo da via, que substitui a localização dos elementos por coordenadas. Já a segmentação dinâmica é usada para transformar os dados armazenados em tabelas em informações possíveis de serem visualizadas. Essa metodologia permite segmentar a rede sem precisar quebrar os arcos (links) de rede inserindo nós adicionais. Esses dois modelos são também usados nos processos definidos no presente trabalho.

Por fim, os dados espaciais têm natureza dual, localização e atributos. Os atributos correspondem a uma lista de características que descrevem entidades, podendo ser espaciais ou não espaciais.

2.6.2 Modelo de Dados

Um modelo é a representação útil da realidade para determinado propósito. Modelar envolve processos como redução, abstração, seleção, classificação, definição, entre outros. Desta forma, a arte de modelagem consiste em decompor o mundo real em uma série de sistemas simplificados para alcançar uma visão sobre as características essenciais de certo domínio. (RODRIGUES, 1990)

Em um desenvolvimento de aplicativo ou sistema, existem três fases de modelagem dos dados: Modelagem de Dados Conceitual, Modelagem de Dados Lógica e a Modelagem de Dados Físicos.

Na modelagem de Dados Conceitual, há a abstração total do que se deseja modelar e não deve haver a preocupação com detalhes de implementação. O Modelo de dados lógico é o passo seguinte à Modelagem conceitual, onde os entes são armazenados em estruturas lógicas de armazenamento de dados como tabelas ou registros. Já o modelo de dados físico é o nível mais baixo e descreve a organização dos arquivos e métodos de acesso.

O presente trabalho desenvolve o modelo de dados lógico sobre o qual deve ser feito o modelo físico para sua implementação.

Dentre os inúmeros modelos de dados, o Geo-OMT é o de maior interesse a esse trabalho. Ele foi proposto por Borges (1997) em sua dissertação de mestrado e trata-se de uma extensão do modelo de dados orientado a objeto OMT desenvolvido por Rumbaugh et al (1997). As primitivas desenvolvidas para modelos GEO-OMT permitem modelar a geometria e topologia dos dados geográficos e diferenciação de atributos alfanumérico dos espaciais. Esse modelo foi usado no presente trabalho.

2.6.3 Espaço x Tempo – Modelagem Dinâmica

A maioria das aplicações de tecnologia de geoinformação utiliza representações estáticas de fenômenos espaciais. Segundo Câmara et al. (2004), modelos espaço-temporais apresentam dois aspectos distintos: a escolha de conceitos adequados do espaço e do tempo e a construção de representações computacionais apropriadas correspondentes a esses conceitos.

A variável tempo é difícil de representar em GIS, embora existam alternativas de representação em diversos estudos, que consideram aspectos como ordem, variação, granularidade, dimensão etc..

É importante aplicação de modelo espaço-temporal adequado nesse trabalho, uma vez que sua matéria prima são os dados dos pontos GPS, cujos principais atributos correspondem ao tempo e espaço. Tais modelos visam representar o comportamento de objetos em sua trajetória espaço-temporal.

As posições coletadas pelo sistema GPS e outros sistemas de posicionamento são modificadas continuamente com o tempo. Para modelar esse tipo de dados surge o campo de estudo dos “Objetos Móveis”. Esses objetos, na maioria das vezes, correspondem a veículos e carga, mas também há interesses sobre animais e até pessoas. Eles correspondem a sistemas móveis cujo estado desejamos conhecer ao longo do tempo. Um aspecto importante dos modelos é a resolução espacial, determinada pela freqüência de coleta dos dados. (RODRIGUES, 2008)

Há duas frentes para essa modelagem, a que foca no histórico do movimento e a que trata de aplicações altamente dinâmicas, com consultas visando o futuro próximo. O processo de geração de padrões de viagem desse trabalho se enquadra no primeiro caso e o processo de monitoramento do progresso das viagens no segundo.

2.7 SISTEMAS

Sistemas são conjuntos de entes inter-relacionados e seu estado representa o conjunto de valores de atributos relevantes, em um determinado instante.

Quando um sistema é dinâmico, ele pode ter seu estado alterado com o tempo (a cada instante), já quando ele é estático, seu estado permanece inalterado com o tempo. Desse modo, os sistemas Automatic Vehicle Location (AVL), principalmente quando focado no veículo, são considerados dinâmicos. Seu ambiente são as vias que percorrem nas suas viagens e outros veículos. O sistema AVL é aberto, pois há interferências do ambiente externo e será detalhado em seguida.

2.7.1 Sistemas AVL

Como mencionado, os sistemas *Automatic Vehicle Location* (AVL) usados para o monitoramento de veículos, cargas e até pessoas têm tido sua utilização ampliada, com finalidades em logística e segurança. Eles permitem o conhecimento de posições dos objetos, entre outras informações, e a realização de operações associadas.

O AVL é composto pelos subsistemas de aquisição dos dados e atuação, equipamentos embarcados, comunicação e gestão das informações. Alguns exemplos de tecnologias de posicionamento são o signpost, GPS embarcado no veículo, rede de telefonia celular, rádio freqüência, híbridos, entre outras. Já os subsistemas de comunicação podem ser via rádio, telefonia móvel e satélite. (RODRIGUES, 2003)

De uma forma geral, o sistema coleta os dados de posicionamento dos veículos pelo subsistema de aquisição de dados, através do subsistema de comunicação, transmite-os a uma central de controle, onde é realizada a gestão das informações coletadas, por meio da integração dos dados de posicionamento com base de dados

existente, ferramentas GIS e softwares especializados. Esse subsistema de gestão da informação suporta os processos associados à viagem do veículo, provendo funcionalidades ao sistema, além de gerenciar o recebimento e o envio de dados entre veículo e central.

Atualmente, a maior variação de custos das tecnologias está relacionada à transmissão de dados. Transmitir através da rede celular é muito mais barato em comparação à comunicação satelital; por outro lado, a infra-estrutura de telefonia celular não cobre plenamente o território. Nas regiões não urbanas mais afastadas, a transmissão acaba tendo que ocorrer por satélite, que tem abrangência global, o que representa um custo dezenas de vezes maior. Como o custo da transmissão está ligado à freqüência de coleta, ou seja, quanto maior a freqüência definida para um monitoramento, maior o custo da comunicação, principalmente nas "regiões de sombra" (onde a comunicação celular não tem cobertura), a definição dessa freqüência torna-se uma restrição de custo.

A partir da combinação de tecnologias do AVL, de acordo com as necessidades de cada operação, é possível gerar de maneira contínua uma muito grande quantidade de dados com alta precisão de posicionamentos, que podem ser disponibilizados aos usuários (operadores do monitoramento, embarcador da carga, entre outros) na central de operações e/ou em ponto remoto via web. Essa informação pode ser usada em aplicações em tempo real e/ou armazenados como histórico para posterior análise. A metodologia aqui proposta analisa esta massa de dados e dela extrai informações.

Como exposto, o sistema gera dados de posicionamentos de alta qualidade (precisão), com alta densidade de pontos (quantidade de pontos por unidade de área) e cobertura espacial suficientes para aplicação de técnicas estatísticas para determinação de parâmetros da viagem e estudos de confiabilidade. Isso possibilita a estimação dos parâmetros para as diversas etapas da viagem e não apenas para a viagem inteira, por meio da subdivisão virtual das rodovias em segmentos. Outro aspecto interessante que contribui para a confiabilidade da metodologia é o fato da grande parte das viagens monitoradas apresentarem rotas fixas, o que caracteriza comportamento cíclico: veículo frequentemente realiza as mesmas viagens (com

origens/destinos, caminhos fixos) e contribui para o mapeamento mais preciso da rota pois haverá maior quantidade de pontos GPS associados a ela.

Por se tratar de processo contínuo de geração e atualização dos dados base, a determinação dos padrões de viagem é dinâmica. Além disso, há baixo custo de levantamento de dados, uma vez que a infra-estrutura já está instalada.

O monitoramento AVL ocorre em tempo real sobre dados de posições dos veículos em movimento atualizados dinamicamente, com conseqüente atualização dos atributos relacionados às posições (pontos GPS) em intervalos de tempo pré-definidos ou a qualquer momento, desde que solicitado pelo usuário.

Para muitas aplicações do sistema AVL, é importante que os processos associados à gestão das informações sejam capazes de gerar alertas no caso de ocorrência de algum evento inesperado em relação ao progresso das viagens dos veículos monitorados. Aspectos que se deseja saber são quando e onde os tempos de viagem/velocidades dos veículos atingem valores diferentes do esperado e qual a magnitude dessa diferença, caracterizada por uma métrica de aderência, a qual pode caracterizar problemas como roubo, acidentes, velocidades não permitidas, atrasos indesejados.

Já existem técnicas bem difundidas, as chamadas cercas eletrônicas, que permitem controlar automaticamente o progresso da posição do veículo, identificando quando o mesmo sai de uma rota pré-definida, atravessa locais de interesse ou chega/sai dos respectivos destinos/origens e paradas pré-definidos. No entanto, a definição dos valores e limites esperados de tempo de viagem/velocidades de veículos e a identificação de quando ele atinge valores além desses limites, ainda acontece por meio visual não automático, operado por pessoas. Esse processo é sujeito ao erro, apresenta capacidade limitada de gerenciar muitos veículos simultaneamente, além de representar alto custo de mão-de-obra. Portanto, é de muito interesse sua automatização, pois por meio dela, além da redução dos erros associados a cada viagem, é possível ampliar a capacidade de gerenciamento para cerca de dezenas de milhares de veículos ao mesmo tempo.

Isso representa uma substancial redução de custo de mão-de-obra, uma vez que um ponto de trabalho em centro de controle, em funcionamento vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana, representa cerca de R$12.000/mês e consegue acompanhar algumas poucas dezenas de veículos simultaneamente. Cumpre notar que a automação do progresso da viagem não elimina a atuação humana. Apenas o faz com mais qualidade e eficiência a menor custo. Reserva a atuação humana para o tratamento de exceções.

3 GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM

3.1 INTRODUÇÃO

Uma viagem é aqui considerada como composta por uma série de passadas e uma série de descontinuidades (paradas, saídas do percurso, mudanças de sentido). As passadas correspondem aos trechos (etapas) de viagem nos quais o veículo está efetivamente em movimento e dentro de uma faixa de distância em relação à **rota** pré-definida. Portanto, o tempo total da viagem de cada veículo é a soma dos tempos gastos no seu movimento em todas as passadas adicionado ao tempo associados às descontinuidades.

O processo de geração dos padrões de viagens proposto identifica ocorrências de descontinuidades para definir as passadas, e seus tempos de viagem e velocidades. A partir disso, em um processo de agregação, são gerados parâmetros de tempo/velocidade e respectivos desvios padrão para cada trecho (segmento) de rota que compõem a viagem.

Como os dados podem referir-se a viagens rodoviárias de vários veículos em diversas rodovias, são propostas três maneiras de geração dos padrões, assim definidas:

- **Caso 1**- Monitoramento baseado em dados de referência sobre viagens prévias do mesmo veículo, na mesma rodovia a serem monitorados;
- **Caso 2**- Monitoramento baseado em dados de referência sobre viagens prévias de vários veículos, na mesma rodovia a ser monitorada;
- **Caso 3**- Monitoramento baseado em dados de referência sobre viagens prévias de vários veículos, em rodovias de mesma classe rodoviária da rodovia a ser monitorada.

Uma discussão inicial sobre os dados é apresentada. Essencialmente são necessários base de dados GPS e rede vetorial rodoviária. A base de dados GPS é

composta por posicionamentos com data e horário respectivos. Dependendo do modelo matemático de agregação a ser aplicado, é necessário que cada registro GPS possua como atributo a velocidade instantânea, além de posição, data e horário. Apresenta-se comparação entre dois modelos de agregação, detalhados no **Item 3.5.2 - Agregação em segmentos homogêneos**, um que usa a informação da velocidade instantânea e outro que usa apenas os dados de tempo e localização. Já a rede vetorial rodoviária deve representar as vias a serem monitoradas, mas quando não se tiver essa base, essa representação pode ser gerada pelos próprios pontos GPS, conforme detalhado mais adiante.

Conforme exposto, é preciso identificar as passadas para que sejam anulados de forma completa os efeitos das descontinuidades nos padrões de viagem. Para isso, é realizada a retirada de pontos inválidos de paradas, pontos dos veículos no momento em que estão fora da rodovia ou pontos de mudança de sentido do movimento. A partir daí, determinam-se os pontos de início/fim de cada passada.

É feita opção de se trabalhar com os dados GPS agregados, para facilitar a análise. São possíveis dois tipos agregação, um sobre os arcos da rede rodoviária e o outro em segmentos rodoviários de mesmo tamanho, homogêneos em termos velocidade. Por definição, esses segmentos são considerados homogêneos, pois qualquer ponto que esteja associado a ele, independente da posição, apresenta mesmo valor esperado de velocidade. No caso da agregação em segmentos, analisa-se a relação ideal entre tamanho do segmento, freqüência de coleta e classe da rodovia para se obter melhores estimativas.

Na maioria dos estudos urbanos, o período entre coletas de duas posições GPS consecutivas é de menos de 10 segundos. Para o propósito do presente trabalho, tal freqüência é muito alta e desnecessária, sendo usado valor na ordem de grandeza de 1 ponto a cada 5 minutos, conforme discutido no **Item 3.5.3 - A questão da definição do tamanho do segmento**. No Apêndice A, estão apresentados conceitos úteis que são utilizados no presente trabalho.

Enfim, o processo de geração de padrões pretende responder as seguintes questões:

- Para uma nova viagem, qual o Caso de monitoramento, 1, 2 ou 3?
- Para certa freqüência de coleta dos dados GPS, qual o tamanho do segmento que deve ser adotado?
- Qual a freqüência mínima de coleta de dados para certo tamanho dos segmentos de rodovia sobre os quais são determinados os padrões de viagem?
- Quais os valores esperados de tempos de viagem e velocidades e respectivos desvios padrão, em cada segmento de rota a ser percorrido?
- Qual a tolerância relacionada ao desvio entre o tempo real de progresso e o tempo esperado, para cada segmento rodoviário?

3.2 PROCESSO GERAL

Como já exposto, esse trabalho desenvolve metodologia de geração de padrões de viagens para subsidiar processos de monitoramentos. Para tanto, é definido um processo geral, que é composto pelos subprocessos de geração de padrões de viagens e monitoramento do progresso de viagens. A Figura 3.1 mostra seu esquema.

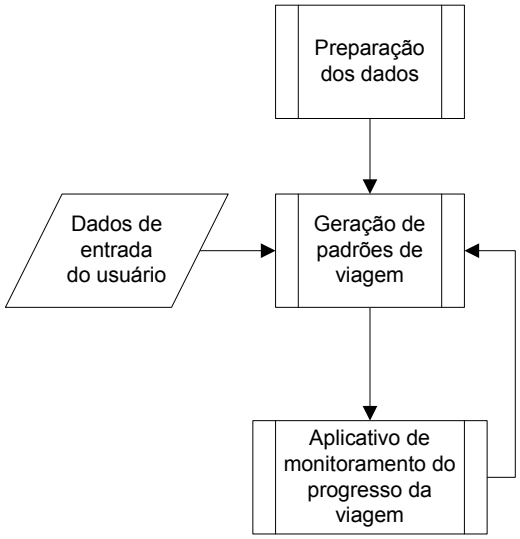


Figura 3.1 – Processo geral de geração de padrões e monitoramento do progresso de viagens

De acordo com a Figura 3.1, é necessária uma preparação das bases de dados. A partir dela, é realizado o processo de geração de padrões, cuja base de dados GPS é continuamente alimentada com dados resultantes dos monitoramentos em sistemas AVL, que serão detalhados no **Capítulo 4 -**

PROCESSO DE MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VEÍCULOS.

Dados de entrada exógenos definidos pelo usuário são necessários para o processo de geração de padrão, como identificador do veículo e da rota, esta definida por origem, destino e trechos rodoviários com quilometragens de início e fim, conforme detalhado no **Item 3.7 - PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES**.

Quando finalizado o processo de geração de padrões, serão gerados os valores de velocidades e tempos de viagens esperados para os segmentos, bem como os desvios padrões e demais dados associados. A partir deles e das entradas informadas pelo usuário, é possível iniciar o monitoramento do progresso da viagem.

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados GPS necessária para aplicação da metodologia proposta é uma tecnologia de baixo custo e cada vez mais explorada em estudos de transporte. Como explicado na fundamentação, dispositivos GPS usam sistema de posicionamento satelital para obter dados com acurácia muito elevada. Ao coletar dados GPS de vários dias seguidos e gerar informações de desempenho rodoviário e estatísticas de viagens ao longo do tempo, é possível saber onde atrasos acontecem rotineiramente, com que freqüência e magnitude.

O sistema AVL é composto por três subsistemas: coleta de dados, transmissão e gerenciamento das informações.

No Brasil, principalmente devido à questão da segurança, a frota de veículos de carga rastreada já é da ordem de centena de milhares. Isso constitui uma rica fonte de dados para estudos e melhoria de processos de monitoramento, bem como para outras finalidades.

Conforme mencionado, os dados GPS a serem usados no processo de geração de padrões correspondem aos pontos resultantes de monitoramentos e são recebidos de forma contínua. Isso significa que a geração de padrões é dinâmica, pois pode ser processada para cada nova viagem a ser monitorada, atualizando continuamente os resultados desses padrões.

Por se tratar de estudo com foco nas etapas rodoviárias das viagens, não se faz necessário que a freqüência temporal de coleta seja tão alta como nos estudos urbanos. Isso porque nas regiões não urbanas a escala espacial e temporal é bem menor e os distúrbios de congestionamento menores e menos frequentes, o que significa que a agregação dos dados deve ser feita em segmentos maiores.

3.3.1 Base de dados GPS

A partir dos dados coletados, constitui-se Tabela de Dados GPS, com no mínimo os seguintes atributos: IDENTIFICADOR DO VEÍCULO, LATITUDE, LONGITUDE e DATA/HORA DA COLETA. Caso seja adotado modelo da velocidade instantânea na agregação, conforme explicado adiante, é necessário coletar as velocidades instantâneas de cada ponto GPS e incluí-las como mais um atributo dessa Tabela.

3.3.2 Rede Rodoviária

Para se obter uma base vetorial para aplicação da metodologia, têm-se duas alternativas. A primeira é lançar mão de mapas digitais existentes fornecidos por

órgãos como DERSA, DNIT, IBGE, entre outros. A qualidade do mapa, indicada pela precisão e atualização dos dados, influi no resultado dos padrões de viagem a serem gerados. Os dados de pontos devem estar no mesmo sistema de coordenadas da base rodoviárias e ambos integrados por meio de ferramentas GIS.

A segunda alternativa, quando não se possui essa base rodoviária, é gerá-la a partir dos próprios pontos GPS, por meio de aplicação de algoritmos já desenvolvidos na literatura que combina pontos GPS. (QUDDUS; OCHIENG; NOLAND, 2007). A maneira ideal é guiar um veículo com receptor GPS instalado ao longo dos corredores desejados e levantar a direção, início e fim de rampa, interrupções e intersecções, nos dois sentidos da via. O resultado pode ser importado para um ambiente GIS para aplicação do algoritmo e geração de uma base vetorial rodoviária. Como essa base é criada diretamente dos pontos GPS, o erro dos estudos será o erro do próprio equipamento, diferente do caso anterior, no qual haverá acúmulo do erro da base de rodovias e do GPS.

No entanto, nem sempre se tem distribuição de pontos suficiente ou possibilidade de executar a viagem para gerar essa rede. Nesse caso, havendo ao menos alguns pontos referentes a viagens já realizadas na rodovia em estudo, é possível ajustar a rede a partir deles, por um processo manual de edição. A determinação do erro espacial nesse caso será o da posição GPS acrescido ao erro da rede em relação a esses pontos, que pode variar espacialmente e de acordo com fatores como: escala, diferença de sistema de coordenadas, entre outros.

Os mapas mais antigos do Brasil ainda estão referenciados ao sistema de coordenadas Córrego Alegre e *South American Datum* (SAD69). A diferença de coordenadas entre o sistema *World Geodetic System* (WGS84), correspondente aos dados GPS, e o SAD69 é de cerca de 20 metros e entre o WGS84 e o Córrego Alegre está em torno de 150 metros. Desse modo, o ideal é que se trabalhe com uma base de rede no sistema WGS84 para minimização da diferença entre pontos GPS e a rede. Ainda assim, erros ainda persistem devido a fatores como escala, entre outros.

- **Sistema de Referência Linear (SRL)**

Conceitualmente, o Sistema de Referência Linear (SRL) pode ser representado por um esquema unifilar construído pela retificação da linha que representa a base da rodovia, com uma régua de quilometragem sobre ela. No caso desse estudo, é interessante criar um SRL sobre as rotas a serem estudadas. Como sempre existe erro associado à medição do posicionamento pelo GPS, é importante que todos os pontos estejam nesse sistema para que sejam comparáveis. Para inserir os pontos nesse sistema, simplesmente associa-se um valor de quilometragem da rota como atributo de cada um deles. Para aplicação desse algoritmo, foi utilizado procedimento do software de GIS aplicado ao transporte “TransCAD”.

Para visualizar geograficamente a rodovia original e as posições relativas dos pontos GPS sobre ela, pode-se executar outro procedimento do “TransCAD” que incorpora os pontos sobre a rota rodoviária.

3.3.3 Modelo de Dados

O modelo de dados lógico para a metodologia de geração de padrões segue o esquema da Figura 3.2. Ele foi desenvolvido segundo o GEO-OMT, modelo de dados baseado na modelagem orientado a objetos, que é extensão do método *Object Modeling Technique* (OMT) com adição de primitivas geográficas. O modelo foi elaborado em linguagem *Unified Modeling Language* (UML) no Microsoft Visio 2007.

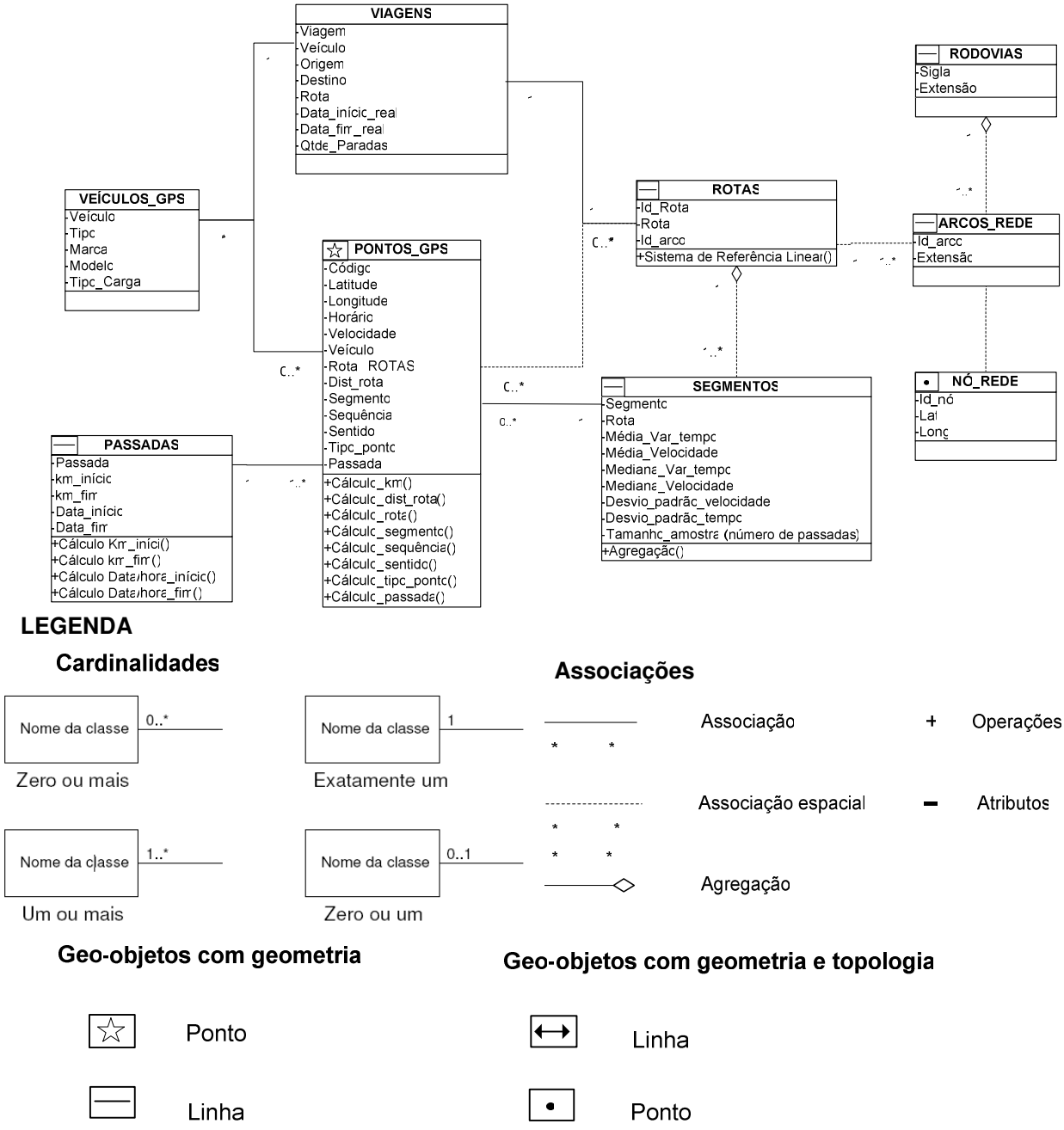


Figura 3.2 - Modelo Conceitual de Dados

No modelo, os pontos resultantes das coletas de dados GPS de viagens monitoradas são adicionados continuamente na **Tabela Pontos_GPS**, que funciona como um repositório de pontos.

Cada ponto GPS está associado a uma ou muitas rotas e a partir dessa associação, é possível calcular a quilometragem e a distância em relação à rota, operações essas representadas na **Tabela Pontos_GPS** do modelo, denominadas “Cálculo km” e “Cálculo dist_rota”. A partir da quilometragem e da sequência, outras operações são possíveis como “Cálculo do sentido”, “Cálculo tipo ponto” “Cálculo passada”. Por fim, há também o “Cálculo segmento” que em conjunto com as passadas e demais atributos subsidiam a agregação em segmentos.

Ainda na Figura 3.2, a **Tabela Pontos_GPS** está também associada à **Tabela Passadas** e à **Tabela Segmentos** pelos atributos de mesmo nome.

Espacialmente, a **Tabela Rotas** é composta por um ou muitos segmentos em uma associação de agregação representada no modelo. Cada rota possui também um ou muitos arcos de rede que compõem a **Tabela Rodovias**.

A **Tabela Rotas** também está associada à **Tabela Viagens** em uma relação um para um, uma vez que a rota é a trajetória espacial a ser percorrida em uma viagem por um veículo.

Por fim, a **Tabela Viagens** contém os dados informados pelo usuário a cada novo monitoramento, com dados como origem/destino e rota. Essa tabela é atualizada no processo de monitoramento com os atributos de data/hora início e data/hora fim a cada viagem monitorada. A **Tabela Viagens** está também associada à **Tabela de Veículos**, esta com dados de tipo, marca, modelo para análises fatoriais complementares.

3.4 DEFINIÇÃO DE PASSADAS

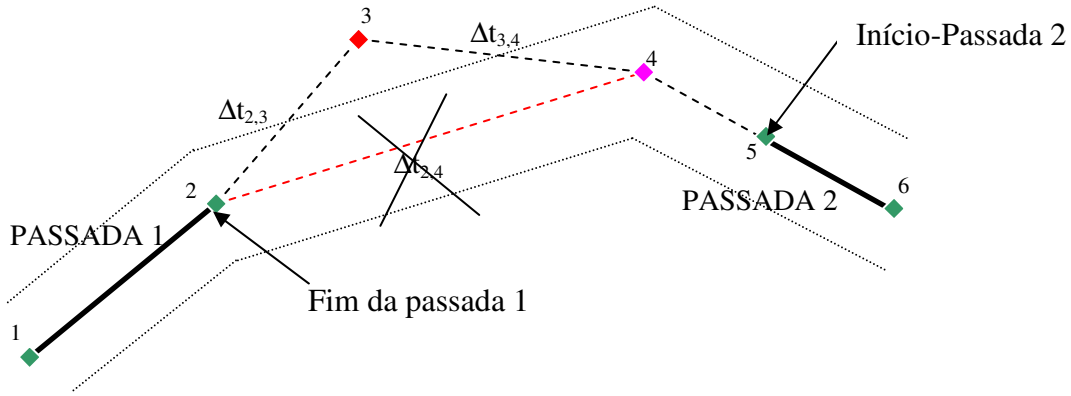
Para definir um padrão de viagem, deve-se retirar da base de análise os pontos inválidos que não representam um padrão do movimento determinado pela rodovia de referência e sim descontinuidades de certa viagem. É o caso de paradas, saídas

do percurso, mudanças de sentido do movimento etc.. A retirada deles é necessária para não influenciarem indevidamente o padrão de viagem.

A identificação automática de paradas é detalhada mais adiante. Os pontos de saída do percurso denominados “pontos fora da cerca” são determinados por meio das suas distâncias à rede viária. Se um ponto estiver a uma distância maior do que um valor pré-determinado, considera-se que houve uma saída de percurso. Já os pontos de mudança de sentido devem ser também identificados. Du (2006) propõe dois tipos de algoritmos: o primeiro define que arcos de rede que forem percorridos pelo mesmo veículo mais de uma vez, em sentidos opostos e em um curto intervalo de tempo, referem-se a uma mudança de sentido. O outro simplesmente detecta uma mudança de 180º no movimento. Nesse trabalho, são identificados pontos referentes à mudança de sentido pela análise das variações de quilometragens dos pontos, a ser discutida mais a frente.

Como mencionado, passadas são os trechos/etapas de viagem nos quais o veículo está em movimento e dentro de uma faixa de distância (buffer), em relação ao eixo da rota pré-definida. Para defini-las, é preciso identificar seus pontos de início (origem) e fim (destino). Assim, uma passada é terminada quando, ao percorrer os pontos GPS cronologicamente ordenados, são encontradas descontinuidades (paradas, pontos fora da cerca, mudanças de sentido etc.).

A Figura 3.3 mostra um caso início/fim da passada por saída da rota, sendo que os deslocamentos entre os pontos 2 a 3 e 3 a 4, referentes aos $\Delta t_{2,3}$ e $\Delta t_{2,3}$, são considerados fora da cerca.



◆ P3 – Ponto fora da cerca – pontos dos veículos nos momentos de saída do percurso

- P4 – Ponto de transição depois de voltar para cerca (influenciado pela saída do anterior)

Figura 3.3 – Pontos fora da cerca

A Figura 3.3 ilustra a necessidade de retirada de pontos que estejam fora da rodovia, além dos limites de uma cerca virtual, correspondente a um afastamento pré-determinado. A definição da distância a ser usada na definição da cerca depende de fatores como erro do GPS, erro da rede rodoviária, quantidade de faixas da rodovia (normalmente o que é representado pelas redes vetoriais de rodovia são os eixos de via), existência de canteiro central e acostamento entre outros, portanto varia conforme especificidades dos casos.

Em média, têm-se aproximadamente 15 m de erro das posições GPS, no entanto uma variação grande de tipos de rede vetorial rodoviária que podem acarretar diferenças grandes de erros. Além disso, o número de faixas e tamanhos de canteiro central e acostamento variam muito conforme a rodovia, o que torna incorreto estipular um único valor de distância da *cerca virtual*. O modelo a seguir é proposto para estimar seu valor:

$$Dist_Cerca_virtual \approx \mathrm{E}_{GPS} + \mathrm{E}_{rede_rodoviária} + núm_faixas * L_{faixa} + \frac{L_{canteiro}}{2}$$

(1)

Onde:

E_{GPS} = erro associado à coleta de posições GPS;

$E_{rede_rodoviária}$ = erro da rede rodoviária em relação aos pontos GPS;

$núm_faixas$ = número médio de faixas viárias, incluindo acostamento;

L_{faixa} = largura média de faixa da rodovia;

$L_{canteiro}$ = largura média do canteiro central.

Segundo esse critério, retiram-se os pontos que estão além da distância de cerca.

Na experimentação desse trabalho, adotou-se valor adequado ao presente problema.

Outro caso de descontinuidades são as paradas da viagem, cujo exemplo está representado na Figura 3.4.

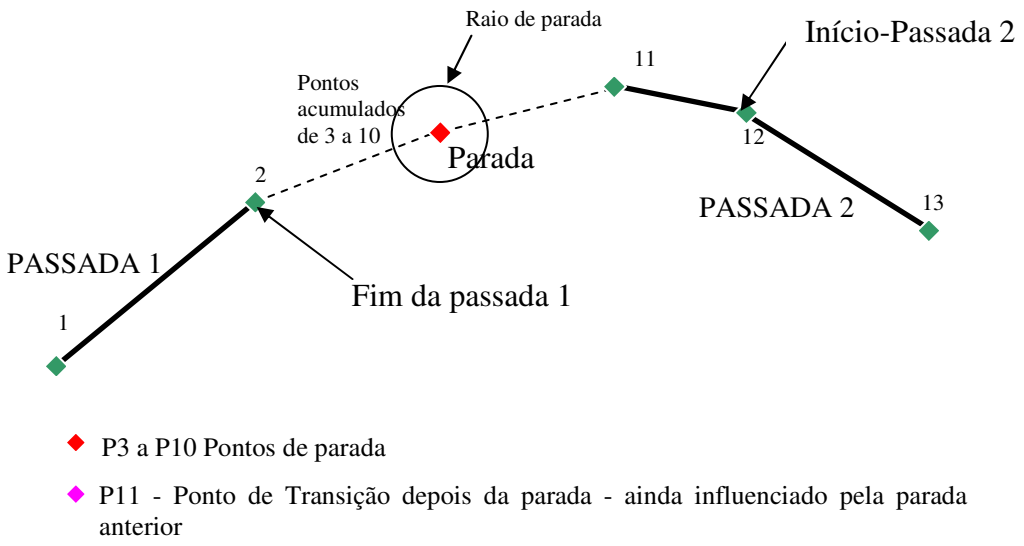


Figura 3.4 – Pontos de parada

Du e Aultman-Hall (2006) e Doherty et al. (2001) apresentam propostas de algoritmos para identificação das paradas que correspondem a início/fim de viagens de passageiros. A partir desses estudos, definiu-se algoritmo que pode ser aplicado para o presente objetivo, que se diferencia dos citados por não se restringir a viagens de passageiros e estar focado em viagens interurbanas.

As paradas que necessitam ser retiradas da base, antes da agregação dos pontos em segmentos, são aquelas que apresentam alguma finalidade associada. Elas ocorrem em função de padrões específicos da viagem e não por padrões da rodovia. Assim deseja-se identificar paradas com finalidades do tipo:

- Carregamento/descarregamento
- Pernoites
- Almoço do motorista

- Troca de motorista
- Acidente
- Outros

No entanto, é importante manter na base de dados as desacelerações, que podem tornar-se paradas rápidas, por padrões da rodovia tais como:

- Pedágio
- Balança
- Congestionamentos
- Rampas
- Outros.

Para diferenciar esses dois tipos de paradas, propõem-se usar o conceito de “tempo estacionado” (*dwell time*). Para adotar o valor do tempo estacionado, são feitas analogias das definições de outros estudos relacionadas ao meio urbano.

Define-se que um veículo está estacionado quando os posicionamentos dos seus pontos GPS coletados permanecerem em um raio pré-definido por mais tempo do que o “tempo estacionado”. Doherty (2001) adotou raio de aproximadamente 20 metros, próximo ao erro do GPS e tempo estacionado de 5 minutos. Nesse método é feita a contagem de pontos, uma vez que a freqüência de coleta é fixa. No entanto, para fins da análise de viagens rodoviárias, sugere-se a adoção de um diâmetro em torno de 2,5 km e tempo estacionado de 30 minutos, mais condizentes com a realidade rodoviária, onde a ordem de grandeza dos tempos são maiores.

Esses valores podem variar conforme a rota a ser monitorada e são parâmetros de ajuste quando da aplicação do processo. Propõe-se ainda usar técnica um pouco diferente da contagem do número de pontos dentro do raio, pois pode haver variação na freqüência de coleta, o que torna essa quantidade de pontos também variável.

Os valores de tempo estacionado e diâmetro foram adotados de modo empírico, considerando que em uma rodovia, veículos estacionados por mais de 30 minutos representam provavelmente uma parada para uma finalidade. Isso porque não é

usual que um veículo, em um congestionamento, não se desloque no mínimo 2,5 km nesse tempo.

A distinção total entre paradas rápidas e uma desaceleração ou parada por padrões da rodovia não é uma tarefa fácil. Nesse estudo convive-se com essa ambiguidade, ressalvando que com o uso da mediana como indicador ao invés da média, outliers de parada terão suas influencias naturalmente amortecidas, conforme detalhado no **Item 3.6 ASPECTOS ESTATÍSTICOS.**

Uma sugestão de aplicação para diferenciação das paradas relacionadas aos padrões de viagens das relacionadas à rodovia é analisar vários veículos. Assim, se certa parada/desaceleração acontece uma ou mais vezes, referente a um ou poucos veículos no mesmo local, trata-se de um padrão relacionado a essas viagens em específico e devem ser retiradas da base (acidentes, carga/descarga). No entanto, se essa parada se repetir no mesmo local para muitos veículos, trata-se de padrão determinado pela rodovia e não deve ser considerado nas análises. Se ainda esse padrão for periódico, é um forte indício de congestionamento.

Foi desenvolvido algoritmo de identificação de paradas em *Visual Basic for Applications* (VBA), que processado seqüencialmente sobre a base de pontos GPS, identifica se os pontos permanecem estacionados. O algoritmo percorre cronologicamente os pontos e para cada um deles, seleciona os pontos consecutivos dos próximos 30 minutos. Se a maior variação de km entre esse conjunto de pontos for menor do que 2,5 km, isso significa que todos eles representam uma parada.

Esse mesmo algoritmo é ainda aplicado para identificar paradas ao longo do monitoramento de uma nova viagem.

Outros pontos de início/fim das passadas correspondem às mudanças de sentido, representadas pela Figura 3.5.

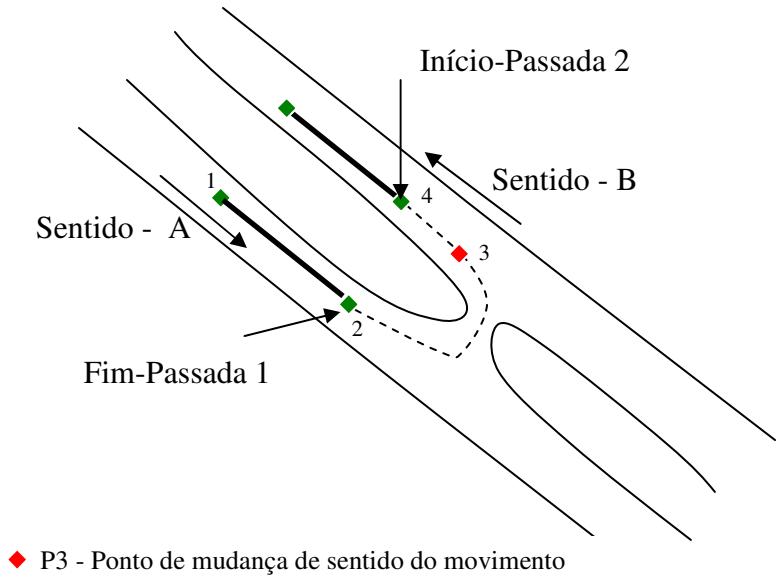


Figura 3.5– Pontos de Mudança de Sentido

Combinações dessas três situações básicas ainda podem ocorrer e são consideradas nos modelos de agregação.

3.5 AGREGAÇÃO

Como descrito anteriormente, é necessário aplicar um processo de agregação da informação, uma vez que é contraproducente analisar diretamente os dados pontuais, pelas dificuldades de determinar padrões e realizar comparação entre eles. Essa agregação é feita para os segmentos da rota, segundo segmentação definida conforme a freqüência de coleta aplicada.

A agregação também pode ser aplicada aos diversos arcos de rede que formam a rota. O objetivo é atribuir parâmetros de viagem a cada segmento, a partir dos atributos relacionados aos dados da Tabela Pontos GPS. Para o presente estudo, esses parâmetros são usados como valores de referência para o monitoramento de uma nova viagem, conforme será detalhado no **Capítulo 4 - MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGENS DE FROTA DE VEÍCULOS**.

3.5.1 Agregação dos pontos GPS nos arcos da rodovia.

Uma rede rodoviária é formada por diversos arcos que correspondem às ligações de via entre intersecções (saídas/chegadas e cruzamentos de outras vias). O tamanho dessas ligações é então determinado pela presença dessas intersecções. Em meio regional, fora da área de influência urbana e com rodovias longas, as ligações tendem a ser compridas, podendo ter mais de 100 km. Já no meio urbano, no qual a rede de ruas é bastante densa, as ligações têm ordem de grandeza de um quarteirão.

A agregação em arcos de rede constitui uma informação já útil para finalidade de roteirização, programação temporal da viagem e análises gerais de desempenho de rede em termos de tempos de viagem. No entanto, para monitoramentos com freqüências de verificação maiores, há interesse em se determinar os parâmetros de viagem esperados para segmentos menores, homogêneos em termos de velocidade.

3.5.2 Agregação em segmentos homogêneos

Segmentação padrão é o processo de divisão das rotas em segmentos, unidades homogêneas em termos de velocidades, delimitadas de modo abstrato por pórticos virtuais, que correspondem às quilometragens de entrada e saída dos segmentos e podem ser usados como pontos de controle.

Assume-se que o valor de velocidade esperada dos segmentos e respectivos desvios padrão são os mesmos, independente do local do ponto associado ao segmento. Os segmentos possuem tamanhos iguais definidos segundo regra apresentada mais adiante, que considera o tipo de via (sinalizada ou não), freqüência de coleta dos pontos GPS de referência e nível de controle necessário ao novo monitoramento. A esses segmentos são associados parâmetros de viagem

como valores esperados de tempo de percurso e velocidades e respectivos desvios padrão.

Assim, no processo de agregação, calculam-se os tempos de viagem de cada segmento para cada passada, ou seja, para cada vez que um veículo percorrer o segmento. Com os valores correspondentes a todas as passadas, obtêm-se a média e mediana dos parâmetros para cada segmento e os respectivos desvios padrões.

Para o cálculo da agregação, dois modelos matemáticos são possíveis:

- Modelo da velocidade média (1): modelo em que a medida de entrada é a variação de tempo entre dois pontos de posicionamento contíguos;
- Modelo da velocidade instantânea (2): Modelo alternativo em que a medida de entrada é a velocidade instantânea medida pelo GPS.

OBS: Na experimentação do presente trabalho, apesar de terem sido coletadas as velocidades instantâneas dos veículos, usa-se o modelo da velocidade média (1), já que ele é mais simples e adequado para segmentos mais longos. Esses dois modelos foram testados no estudo de Quiroga (1998).

Há estudo de Mccormack e Hallenbeck (2005) que propõem algoritmo de agregação do tempo de viagem em segmentos sem aplicar interpolação. O algoritmo percorre seqüencialmente a base de dados GPS e, para cada *trip* (correspondente às passadas), determina como tempo de entrada do segmento o valor correspondente ao primeiro ponto GPS associado ao segmento e como tempo de saída do segmento, o valor do último ponto GPS associado ao segmento, do mesmo veículo. O tempo de percurso é a diferença entre eles. Já no cálculo da velocidade média, para evitar distorções de resultados, usa como distância o valor, entre esses dois pontos, levantado diretamente pelo equipamento instalado.

Já o modelo da velocidade média (1) proposto, baseado no estudo de Quiroga (1998), considera como tempo de percurso em cada passada para cada segmento a diferença direta entre os valores de tempo acumulado associados ao ponto de saída e ao ponto de entrada do segmento. Esses valores são determinados por interpolação linear, a partir do ponto mais próximo da entrada e do mais próximo da saída. A Figura 3.6 representa essa interpolação.

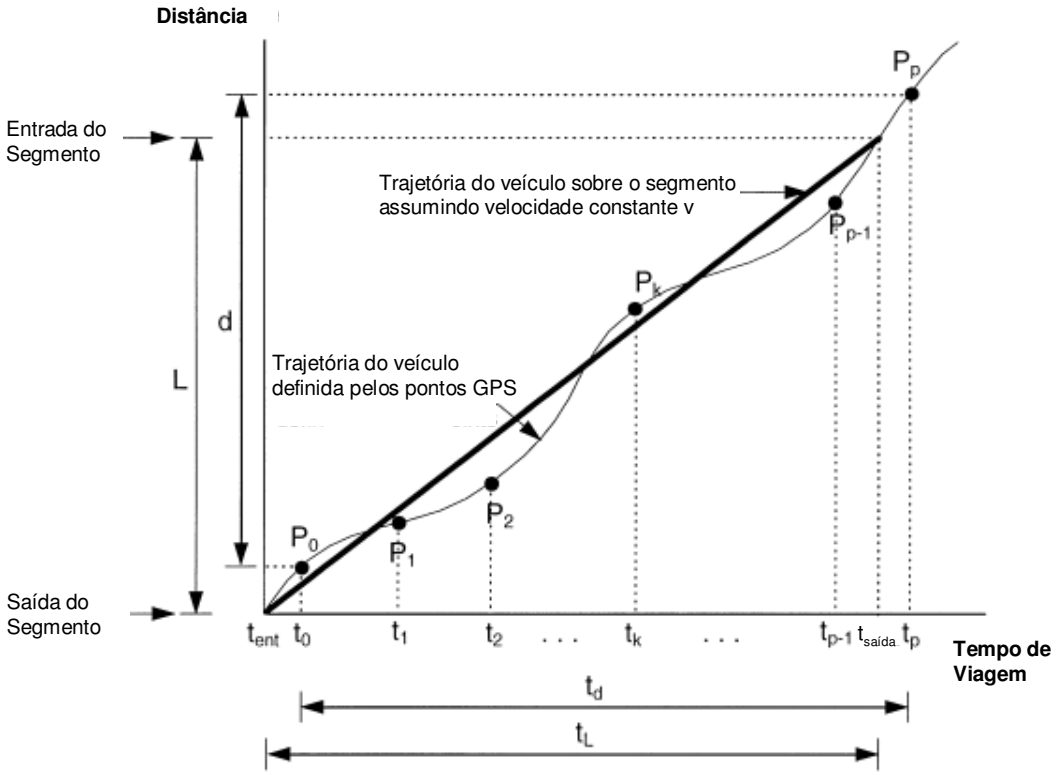


Figura 3.6 – Diagrama de Tempo x Distância de pontos GPS em um segmento. Adaptado: (QUIROGA, 1998)

Para aplicação do modelo, desenvolveu-se algoritmo que percorre a Tabela GPS cronologicamente e para cada passada, determina os pontos mais próximos da entrada e saída do segmento respectivamente (P_o e P_P na Figura 3.6). Calcula então o tempo de percurso no segmento por interpolação, pela aplicação do modelo matemático:

$$t_L = t_{saída} - t_{ent} = \frac{L}{d} * t_d \quad (2)$$

Onde:

t_L é o tempo de percurso no segmento;

t_{ent} é o valor de tempo acumulado da passada no ponto de entrada do segmento;

$t_{saída}$ é o valor tempo acumulado no ponto de saída do segmento;

L é o comprimento do segmento;

d é a distância entre os pontos mais próximos da entrada (P_o) e saída (P_p) do segmento;

t_d é o tempo entre os pontos mais próximos da entrada (P_o) e saída (P_p) do segmento.

Já o modelo matemático aplicado para cálculo da velocidade média é o seguinte:

$$V_{média_segmento} = \frac{L}{t_L} \quad (3)$$

São também determinados os desvios padrão associados aos tempos de viagem e velocidades, cujo modelo é o seguinte:

$$Desvio_padrão = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})}{(n-1)}} \quad (4)$$

Onde:

n é o tamanho da amostra;

$\bar{x}$ é a media amostral de todos os valores de tempo (t_L) ou velocidade ($V_{média_segmento}$), conforme o caso;

x são os dados amostrais de tempo (t_L) ou velocidade ($V_{média_segmento}$), conforme o caso.

A partir desse processo, cria-se tabela de segmentos que descreve os índices de desempenho de cada um deles, baseado em tempos e velocidades. Cada registro desse novo arquivo contém código do segmento e atributos de média e mediana dos tempos e velocidades, bem como número de amostra que gerou tais parâmetros, desvios-padrão, entre outros.

Já no modelo da velocidade instantânea (2), o tempo de viagem para cada passada de cada segmento é calculado em função da velocidade instantânea. O estudo de Quiroga (1998) traz detalhamento e aplicação desse modelo.

3.5.3 A questão da definição do tamanho do segmento

É possível adotar diversos esquemas de segmentação para uma rota. O tamanho mínimo de um segmento depende da freqüência de coleta adotada. Quanto maior o tamanho do segmento usado, menor sua quantidade para uma rota, o que reduz a complexidade. No entanto, nesse caso, os valores dos parâmetros gerados para cada segmento na agregação estarão mais distantes dos valores dos parâmetros associados aos pontos GPS.

Para rotas rodoviárias, os tamanhos dos segmentos a serem usados são bem maiores do que para as rotas urbanas. Isso porque a escala rodoviária é menor, além do que os eventuais distúrbios cujas detecções são de interesse e que impactam na velocidade e no tempo de viagem, são de magnitudes maiores, da ordem de grandeza de quilômetros.

Segundo estudo de Quiroga (1998), realizado para meio urbano com tamanhos de segmentos variando entre 0,099 e 4,15 milhas, para que um distúrbio que cause lentidão (devido a congestionamentos, acidentes etc.) possa ser identificado, é necessário que o tamanho do segmento seja menor do que a metade do sua extensão. Para uma segmentação de 10 km usada na experimentação desse trabalho, os distúrbio que serão identificados têm extensão de 20 km.

A agregação em segmentos de uma passada pode ser representada pela Figura 3.7. Nela, os resíduos da velocidade representam a diferença entre o valor original da velocidade GPS e a velocidade nos segmentos, medindo a proximidade do dado original do GPS do agregado em segmento.

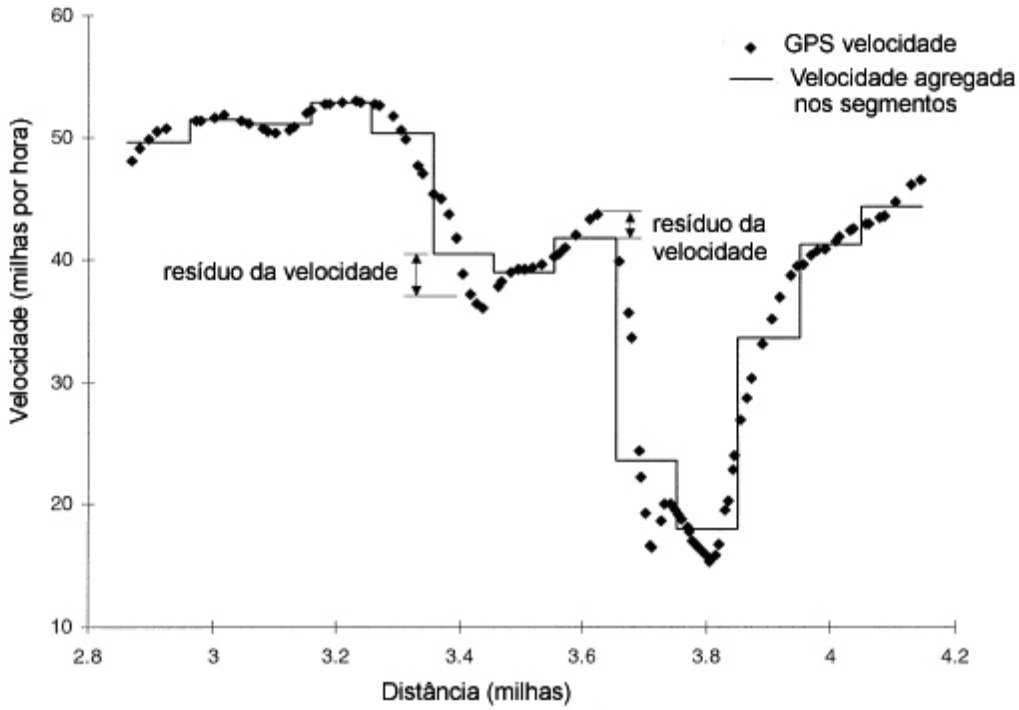


Figura 3.7– Resíduos da Velocidade – Diferença entre valores originais de velocidade GPS e valores agregados em segmentos ao longo da rota. Adaptado: (QUIROGA, 1998)

Já a Figura 3.8 mostra a relação do tamanho dos segmentos *versus* o desvio padrão dos resíduos das velocidades e os tipos de via, em estudo realizado por Quiroga (1998), representando a distância a partir da qual os resíduos ficam independentes do tamanho do segmento, conforme as condições de congestionamento.

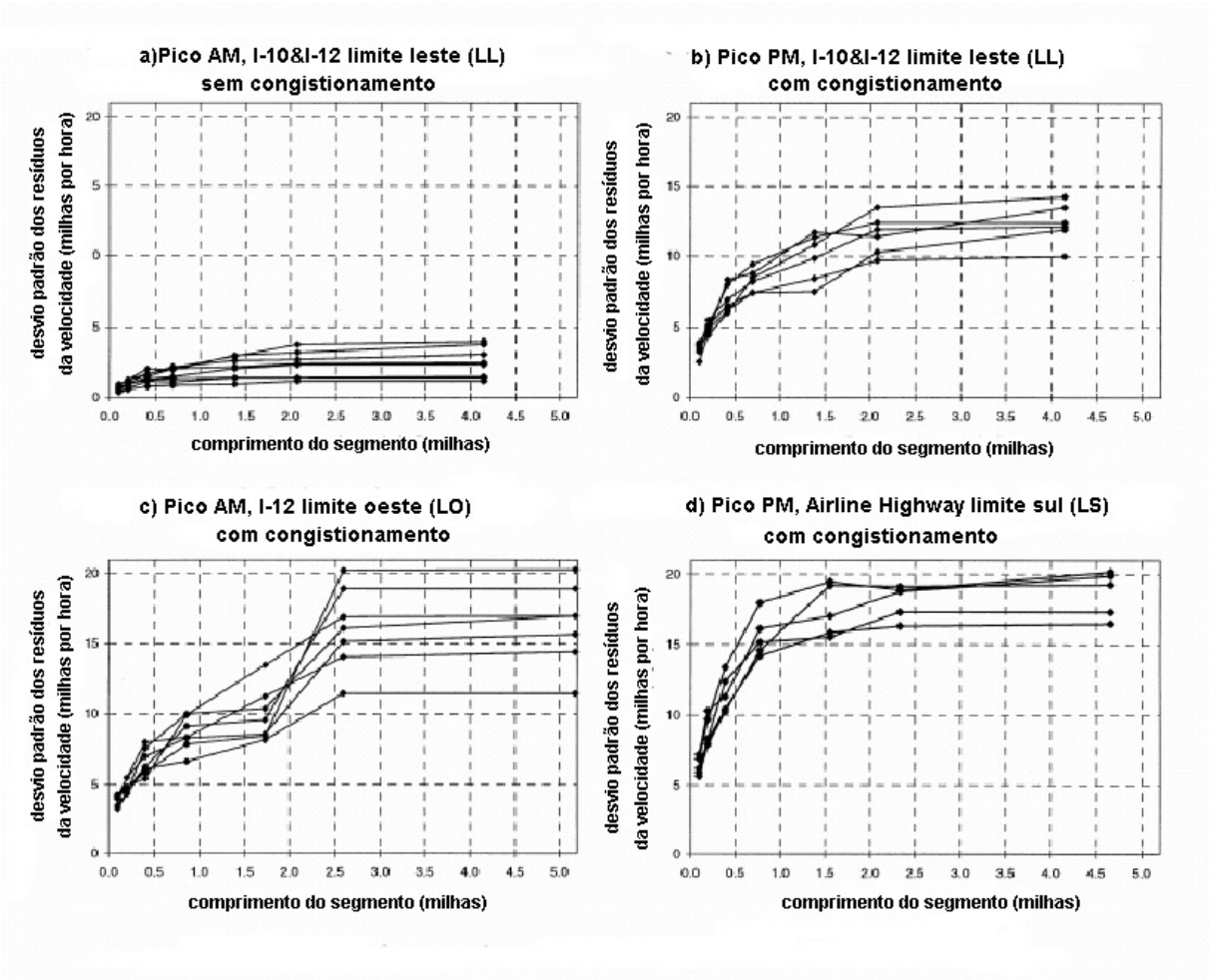


Figura 3.8 – Relação entre tamanho de segmento e desvio padrão dos resíduos da velocidade para vias norte-americanas de diferentes características e condições de congestionamento. Adaptado: (QUIROGA, 1998)

A Airline Hwy, referida na Figura 3.8, é uma via sinalizada ao contrário da I-10 e I-12 com controle de acesso. Nota-se que na Airline Hwy (Figura 3.8 d), para uma segmentação de 2,5 milhas, o desvio padrão dos resíduos é maior que 15 mph, enquanto que para a I-10 e I-12 no mesmo período (Figura 3.8 b), o desvio padrão é de menos de 15mph. Isso é uma indicação de que vias sinalizadas necessitam de segmentos de tamanhos menores do que as com acesso controlado, para atingirem mesmos patamares de resíduos de velocidade.

Observa-se também que as condições de congestionamento impactam no desvio padrão dos resíduos, o que significa que em congestionamentos maiores, os resíduos tendem a variar bastante. Isso é visível, comparando-se a Figura 3.8 a) e Figura 3.8 b), que correspondem às mesmas rodovias no mesmo período.

Diante do exposto, conclui-se que o tamanho do segmento tem uma relação com a classe da via a ser analisada. Por exemplo, uma via sinalizada, com muitas intersecções, tende a ter maiores distúrbios nos padrões, exigindo segmentos de tamanho menor para captar tais oscilações. Assim, nesse estudo, para as rodovias de classe C, D e E, definem-se segmentos de tamanhos menores para os de classes A e B, de acordo com a classificação hierárquica de rodovias sugerida, apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação de Rodovias

Classes	Descrição
A	Rodovias de pista dupla com controle total de acesso (Imigrantes, Bandeirantes e Rodoanel)
B1	Rodovias de pista dupla, com controle parcial de acesso (Dom Pedro)
B2	Rodovias de pista dupla, sem controle de acesso (Régis Bitterncourt, Raposo Tavares)
C	Rodovias de pista simples, sem controle de acesso
D	Estradas Municipais
E	Estradas de Terra

Foram discutidos fatores que determinam o tamanho ideal do segmento tais como meio rodoviário x meio urbano, tamanho do distúrbio que se deseja identificar, tipo de via (sinalizada, acesso restrito etc.).

Entretanto, o fator de maior restrição do tamanho do segmento é a frequência de coleta de dados GPS. Mesmo que se defina o tamanho ideal do segmento baseado nesses fatores, é necessário que se opere com freqüência de coleta mínima compatível, caso contrário não se terá quantidade suficiente de pontos por segmento para que a agregação represente de maneira satisfatória seus os padrões.

Como comentado anteriormente, segundo estudo de Quiroga (1998), um segmento deve conter no mínimo dois pontos GPS para que possa ser feita a agregação, devendo ser definida uma freqüência de coleta capaz de garantir isso. Para garantir essa premissa, considerando tamanhos de segmento de 10 km e velocidade média

de 60 km/h, deve-se definir um período de coleta (inverso da freqüência) de 5 minutos. Assim, pode-se adotar como regra geral que o tamanho do segmento deve ser no mínimo duas vezes maior do que o valor de tempo do período de coleta.

Mas pode-se surgir a seguinte questão, o que é adotado como premissa e o que é a variável, a freqüência de coleta ou o tamanho do segmento? Normalmente, por restrições de custos, a freqüência de coleta já é um dado, sendo assim o tamanho do segmento uma conseqüência da mesma.

Pode haver ainda interesse em se obter padrões de viagens para segmentos menores, visando identificar distúrbios localizados. Nesse caso, define-se primeiro o valor do segmento, então a freqüência é calculada em função dele. Por exemplo, deseja-se monitorar uma viagem com carga valiosa em uma rodovia muito sinalizada, que costuma manifestar distúrbios de congestionamentos. Pode ser interessante gerar padrões para posterior monitoramento de segmentos de 1 km, portanto a frequência de coleta deve ser de no mínimo um ponto a cada 30 segundos nesse caso.

Ainda no estudo de Quiroga (1998), foi discutido que quando as velocidades originais dos pontos GPS associados a um segmento são relativamente uniformes, o efeito da variação do número de pontos por segmento (definido pelo período de coleta), no correspondente valor agregado de velocidade se torna menor.

Uma extensão desse trabalho é aplicar a metodologia para regiões urbanas, onde há necessidade de segmentos ainda menores que 1km. Para essa segmentação e considerando que os impactos de congestionamentos são maiores, é necessária freqüência de coleta ordem de grandeza de um ponto a cada 5 segundos.

3.6 ASPECTOS ESTATÍSTICOS

3.6.1 Tamanho da amostra e parâmetros

A partir da definição do tamanho do segmento e do modelo a ser aplicado, realiza-se a agregação pelo algoritmo desenvolvido. Como resultado, obtém-se tabela de segmentos com os parâmetros como atributos.

O tamanho da amostra representa a quantidade de passadas por segmento de rota. Segundo Mccormack e Hallenbeck (2005), embora tamanhos de amostra pequenos possam ainda produzir estimativas de velocidade e tempos de viagem, confiança estatística do quão bem essas estimativas representam as condições reais permanecem modestas em tamanhos de amostra menores que 30 *trips*, correspondentes às passadas, por segmento. Para amostras menores que 30, o potencial de efeito de erros aleatórios se tornam mais significativos, segundo o estudo.

Há modelos estatísticos que determinam o valor do tamanho da amostra mínimo necessário. Um deles considera como variável o coeficiente de confiança, desvio padrão e erro que se permite ter entre a estimativa e o real valor da média. Se aplicado aos diversos segmentos, resulta em valores diferentes para cada um deles, já que apresentam desvios-padrão variáveis.

Já que não se trata do foco desse trabalho aprofundar nesses diversos modelos, adotou-se como premissa valor genérico de 30, como tamanho mínimo da amostra (quantidade de passadas por segmento) para todos os segmentos. Esse valor foi adotado na presente experimentação. Porém, é possível aprimorar essa estimativa em continuidades desse estudo, e simplesmente passar a adotar os novos valores, sem alteração do apresentado em termos de processo.

Assim, o tamanho da amostra define se a geração de padrões deve ser executada com dados apenas do veículo a ser monitorado na rodovia (Caso 1) ou com dados de todos os veículos da base que percorreram tal rodovia alguma vez (Caso 2).

Portanto, para gerar os padrões de viagem, calcula-se quantidade de passadas do mesmo veículo na mesma rota, que corresponde ao tamanho de amostra do Caso 1. Se essa quantidade não atingir um tamanho adequado, calcula-se a quantidade de passadas sobre dados de todas as viagens que passaram pela mesma rota (Caso

2), se ainda assim, a quantidade de amostra não for alcançada, buscam-se rotas em rodovias de mesma classe hierárquica para aplicação do processo (Caso 3).

Como as passadas podem apresentar concentrações espaciais, é comum que sua quantidade varie de um segmento para o outro, havendo alguns com estimativa mais confiável do que de outros.

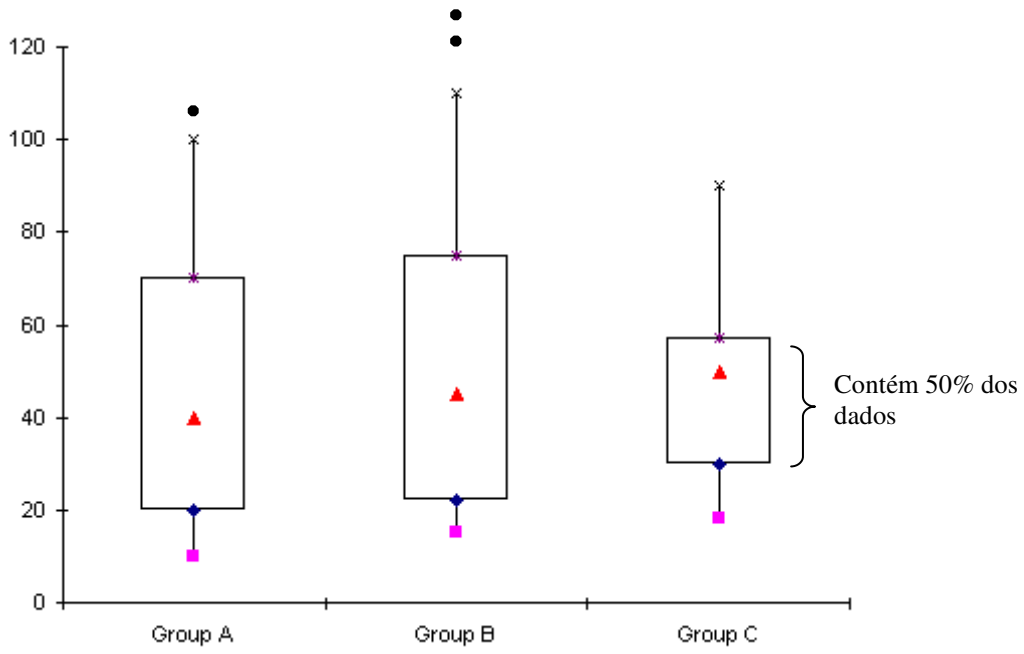
A partir da agregação, são definidos parâmetros que descrevam expectativa de velocidades e tempos de viagem ao longo deles. Propõem-se o uso da média e da mediana como esses estimadores. Em termos de velocidades, a média é calculada para cada segmento sobre todas as passadas e é usada para detectar mudanças de condições de desempenho da via, apesar de ser afetada por um ou poucos valores de viagens muito lentas. Já a mediana representa uma medida do ponto médio dos valores e não é tão influenciada por valores muito baixos (*outliers*).

No entanto, se esses *outliers* forem importantes e representarem um “grupo de risco”, a mediana pode superestimar o valor esperado, além de não refletir mudanças no tamanho ou freqüência das condições extremas ao longo do tempo. Quando a diferença entre a média e a mediana for pequena, isso significa que os valores são simétricos.

Na experimentação, são calculados também desvios padrão, para cada segmento, e gráficos de Diagrama de Caixas.

Os desvios padrões são importantes para definição das tolerâncias entre valor de tempo real e esperado para medição de aderência no monitoramento. A tolerância é medida em unidades de desvio padrão, ou seja, quanto maior o desvio, maior será a diferença permitida entre o tempo real de progresso e o programado de cada segmento.

Já os Diagramas de caixas servem para visualizar os parâmetros e *outliers*. A Figura 3.9 mostra um exemplo de gráfico de Diagrama de Caixa (*Box-Plot*). Por ele, os pontos além dos limites de mínimo e de máximo são considerados *outliers*.



- Q1 – Base da caixa (25% dos dados são menores que Q1)
- Mínimo
- Mediana
- Máximo
- Q3 - Topo da caixa que (75% dos dados são menores que Q3)
- Outliers

Figura 3.9 – Exemplo de Diagrama de Caixa

Após esse tratamento, em um processo de segmentação dinâmica em GIS, a base de segmentos com os parâmetros resultantes das agregações pode ser visualizada com funções de buscas e seleções.

Nos estudos de estimação de tempo de viagem e velocidades dos *advanced traveler information systems (ATIS)* e *advanced traffic management systems (ATMS)*, é comum haver divisão da análise por dia da semana, período ou horário em que a viagem foi realizada. Para o propósito do monitoramento de veículos, é interessante se ter os padrões divididos em períodos do dia e separar o fim de semana para que quando uma nova viagem for monitorada, possam ser filtrados os padrões correspondentes.

Essa divisão é sugerida para que os padrões gerados sejam mais representativos em relação à viagem a ser monitorada. Sugere-se a divisão em períodos: manhã, tarde, noite e madrugada. Assim, cada segmento pode ter estimativas definidas por período e para fim-de-semana separado da semana e uma global com todos os dados. É necessário verificar se isso causa uma redução do tamanho da amostra tal que ela não atinja os patamares mínimos.

Como continuidade do trabalho, pode-se realizar análise fatorial dos dias da semana e períodos para identificação dos blocos homogêneos e separar apenas os valores correspondentes aos fatores que influenciam os padrões de viagem. Por exemplo, se for verificado que os tempos de viagem das sextas-feiras a tarde são maiores que os demais, eles podem formar um grupo específico de análise, mais homogêneo e significativo para seu grupo, e pode-se processar a agregação apenas para ele, quando a viagem a ser monitorado referir-se ao mesmo período.

3.7 PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES

O processo de geração de padrões de viagem é a principal parte desse trabalho e seu desenho é apresentado. Ele considera premissas e conceitos definidos até aqui. Para o presente propósito, ele está inserido em um macro processo geral descrito no **Item 4 - MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGENS DE FROTA DE VEÍCULOS**, sendo integrados a outros processos.

Os produtos principais desse processo estão listados e correspondem a subsídios para monitoramento do progresso de veículos, de acordo com o propósito desse trabalho:

- Padrões de viagem para os segmentos rodoviários (valores esperados de velocidades e tempos de viagem, bem como os desvios padrões e blox-plots), de acordo com o caso de monitoramento;

- Processo de determinação de descontinuidades como paradas, mudanças de sentido de via e saídas de percurso, que são usados para identificação dessas ocorrências no progresso de uma viagem;

No entanto, subprodutos podem ser gerados para finalidades múltiplas, tais como:

- Tempos e velocidades médios de viagens correspondentes aos arcos de rede para alimentação constante de base de dados subsídio de roteirizações;
- Base de dados de Passadas subsídios de programação de viagens e análises de comportamentos gerais e mudanças de padrões com o tempo;

As bases de dados para o processo foram descritas anteriormente e referem-se à base de pontos GPS provenientes dos monitoramentos e à rede vetorial rodoviária. A primeira atividade a ser feita é a preparação dos dados para a geração de padrões.

Uma limpeza inicial da base de dados GPS se faz necessária para retirada de registros duplicados, aqueles que apresentam valores idênticos para os campos: “identificador do veículo” e “data/hora”.

É importante que conversões de formatos dos campos sejam adequadas para a integração com sistemas de banco de dados e GIS e com a rede vetorial rodoviária.

O Fluxograma da Figura 3.10 representa o processo de geração de padrões de viagem. Cada etapa do fluxograma será referenciada e detalhada em seguida.

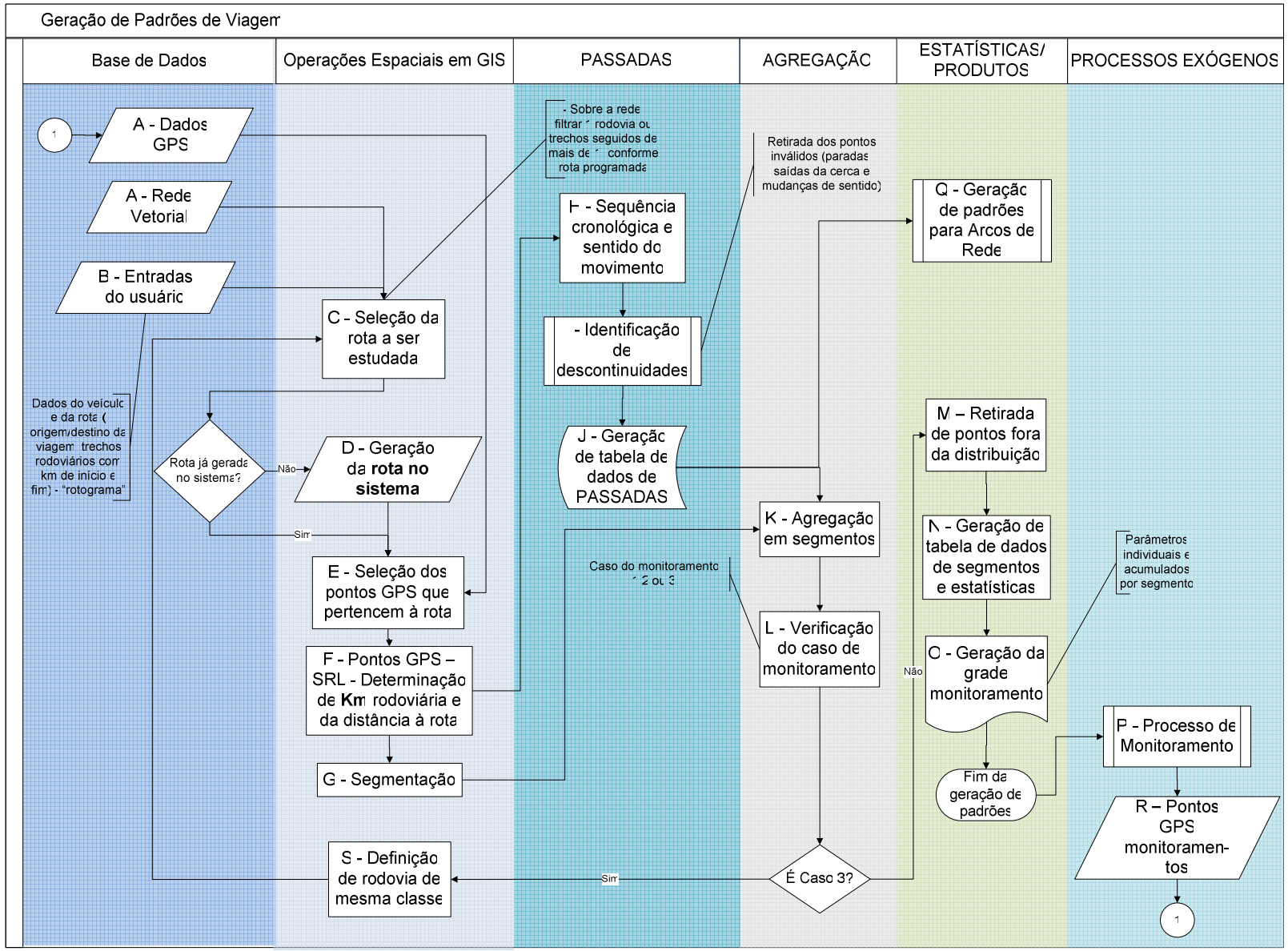


Figura 3.10– Fluxograma das atividades do Processo de geração de padrões de viagem

- **Base de Dados**

A – Dados GPS e Rede Vetorial

Conforme já descrito, os dados GPS e a rede vetorial devem estar preparados para o processamento de geração dos padrões. As bases devem estar compatíveis em termos de sistema de coordenadas e projeções e integradas em GIS para receberem operações espaciais. As bases de dados GPS devem conter os campos e formatos mínimos descritos no **Item 3.3.1 - Base de dados GPS** e a rede vetorial deve conter vias referentes às rotas a serem monitoradas.

B - Dados de entrada do usuário

As etapas seguintes do processo acontecerão a cada viagem a ser monitorada ou sempre que se desejar verificar padrões referentes à determinada rota. Para que elas sejam iniciadas, é necessário que o usuário defina dados de entrada como: veículo e rota a ser percorrida. A rota corresponde às informações de origem/destino e trechos rodoviários encadeados com referências de quilometragem de início e fim, no sistema proposto ou em sistema oficial da rodovia. Uma rota pode corresponder a trechos de uma ou mais rodovias, mas que sejam contíguos, permitindo que sobre ela possa haver uma trajetória contínua.

- **Operações Espaciais em Sistemas de Informações geográficas (GIS)**

C - Seleção da rota a ser estudada

No caso dos dados de entrada do usuário fazerem referência a quilometragens em outro sistema oficial, deverá ser feita conversão para se determinar as quilometragens do sistema em uso. Após identificação da rota em GIS, deve ser feita a seleção de todos os arcos de rede que a compõem.

D - Geração da rota no sistema

É executado um procedimento para criação da rota dentro de um sistema específico em GIS capaz de executar operações como a aplicação do Sistema de Referência Linear (SRL) e segmentação dinâmica, atividades do fluxograma a serem executados após esse processo.

E - Seleção dos Pontos GPS que pertencem à rota

A partir da rota recém criada no sistema, realiza-se *buffer* em relação a ela (seleção de região que envolve objeto, delimitada por certa distância) com distância à rede a ser definida, que pode variar em função do grau de precisão dos pontos e da rede vetorial. Todos os pontos GPS que estiverem dentro desse limite são então exportados para tabela separada.

F - Pontos GPS - SRL – Determinação da quilometragem rodoviária e da distância à rota

Aplicando funções de GIS, são determinados para os pontos da base GPS, os valores de quilometragens (km) em relação à rota dentro do SRL e os valores de distância de cada ponto à rota ("distância da cerca").

O SRL da rota é usado ao longo de todo o processo e a quilometragem é a referência que irá determinar os locais dos veículos a cada momento. Calcula-se a variação espacial linear entre pontos consecutivos, simplesmente pela diferença entre suas quilometragens. Esse índice é importante para padronizar referências e facilitar comparações. É possível calcular esses dados são calculados pela função *add milepost* do TransCAD. Se interessar visualizar tais pontos exatamente sobre as quilometragens da rota, esse software permite usar função *atach* que "anexa" os pontos sobre a rota.

Já a distância da cerca é importante para que se possa adotar um valor além do qual os pontos serão considerados fora da rodovia. Essa medida representa um valor de erro da coleta GPS em relação à rede viária, quando se sabe que o ponto

realmente está na rodovia. Esses dados são calculados por função específica de GIS.

G - Segmentação

Como já mencionado, deverá ser feita segmentação da rede, que é a divisão da rodovia analisada em segmentos homogêneos em termos de velocidade e determinação do segmento ao qual cada ponto pertence. Os critérios de segmentação obedecem à relação ideal entre tamanho do segmento, freqüência temporal de coleta dos pontos e classe da rodovia. O objetivo dessa segmentação é a posterior agregação da informação pontual. Assim, para cada segmento rodoviário, são determinados tempos e velocidade.

O processo de segmentação consiste na divisão virtual da rota em segmentos de tamanho pré-definido conforme exposto e a atribuição do código do segmento para cada ponto GPS.

- **Passadas**

H - Seqüência Cronológica e Sentido do Movimento

Dois novos campos são inseridos na base de dados GPS: a seqüência, que representa o número de ordem cronológica de cada ponto e o sentido do movimento, que precisa da seqüência para ser gerado.

O progresso da viagem dos veículos se dá por uma variação espacial e temporal. Na variação espacial, é importante determinar, além da direção (delimitação pela rodovia por onde o veículo progride), o sentido do movimento. Assim, o comportamento de cada segmento de rodovia será modelado para cada sentido, que é determinado pelo sinal da variação de km, quando positivo corresponde a determinado sentido e quando negativo, corresponde ao inverso, pela aplicação de algoritmos.

I - Identificação de descontinuidades (início/fim das passadas)

Os pontos inválidos devem ser identificados e posteriormente retirados da base, pois não representam um padrão de comportamento da via, e sim de viagem e veículo específicos.

- ***Pontos fora da cerca***

São os pontos de saídas da rota pré-determinada e devem ser considerados inválidos. Para identificação deles, adota-se uma distância máxima em relação ao eixo da via dentro da qual os pontos são considerados válidos. A delimitação dessa distância é definida como *cerca virtual*.

A definição da *cerca virtual* varia de acordo com fatores como imprecisões e erros gerais de medida GPS, erro da rede em relação aos pontos, número de faixas da rodovia, ocorrência e tamanhos de canteiros e acostamentos, entre outros. A distância da cerca virtual em relação à via deve ser tal que englobe os erros relativos a tais fatores, conforme apresentado no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**. A Figura 3.11 representa um exemplo de caso de pontos *fora da cerca*.

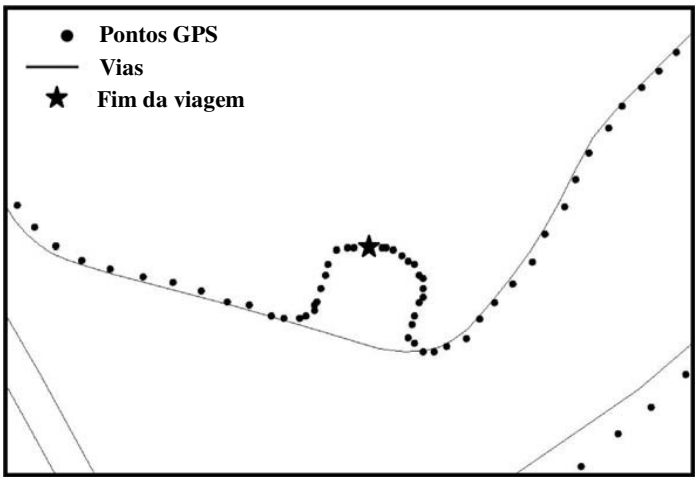


Figura 3.11 – Representação de pontos "fora da cerca". Adaptado: (DU, AULTMAN-HALL 2006)

- ***Pontos de Parada***

É aplicado algoritmo de identificação de paradas, conforme exposto no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**. O tempo usado aqui para definir uma parada é de 30 minutos, enquanto que a variação espacial entre pontos de uma parada é definida em 2,5 km. Por exemplo, se um veículo permanecer estacionado em um raio de 2,5 km por mais de 30 minutos, os pontos GPS correspondentes receberão atributo de parada, conforme discutido no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**. A Figura 3.12 representa um exemplo de parada detectada por algoritmo com GIS.

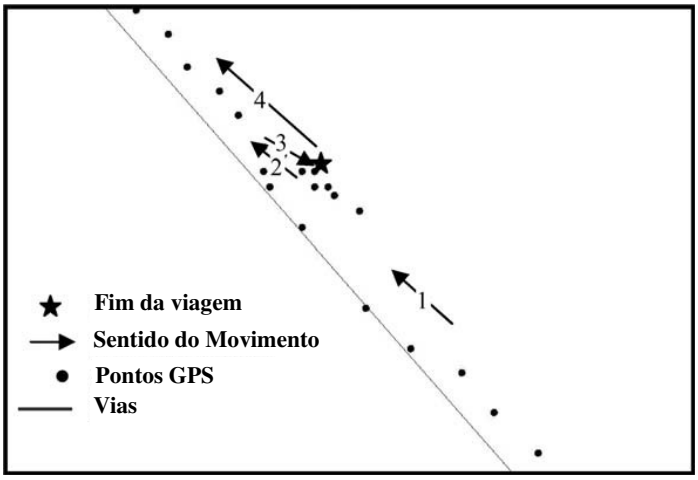


Figura 3.12 – Representação de uma parada. Adaptado: (DU, AULTMAN-HALL 2006)

- ***Pontos de Mudança de Sentido***

Neste estudo, as mudanças de sentido são identificadas por algoritmo que percorre a base de dados de pontos cronologicamente e para o mesmo veículo, verifica uma alteração no sinal da variação de quilometragem dos pontos. A Figura 3.13 mostra um exemplo de caso de mudança de sentido do movimento.

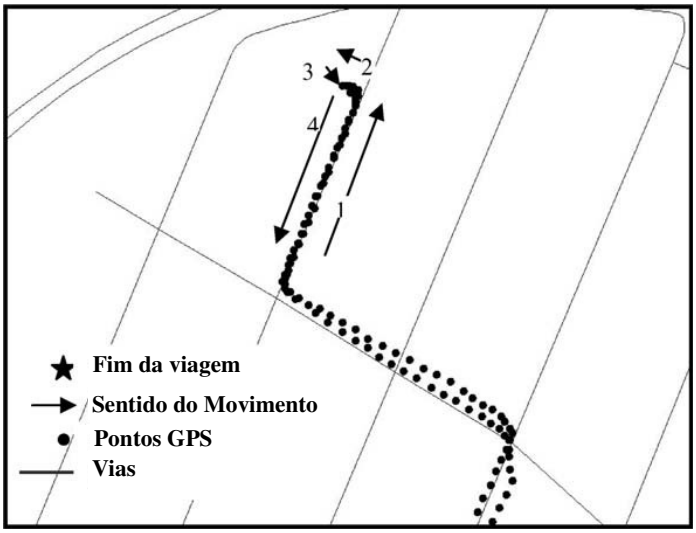


Figura 3.13 – Representação de uma mudança de sentido do movimento - Adaptado: (DU, AULTMAN-HALL 2006)

Essa determinação é feita por um algoritmo que percorre seqüencialmente os valores das quilometragens dos pontos GPS e verifica quando ocorre mudança de sinal da variação de quilometragem.

J - Geração de tabela de dados de Passadas

Após a identificação das paradas é necessário gerar um banco de dados de passadas que são delimitadas pelos pontos de quebra (início e fim da passada), conforme explicado anteriormente.

- **Agregação**

K - Agregações em segmentos

A agregação é feita para associar os parâmetros pontuais aos segmentos definidos na etapa de segmentação. Determinam-se os tempos de percurso e velocidades referentes aos pontos de cada passada por segmento. Para executar tal tarefa, é processado algoritmo desenvolvido em *Visual Basic for Applications* (VBA) que percorre a base seqüencialmente e para cada passada, determina os

tempos referentes aos pontos de entrada e saída de cada segmento, conforme explicado no **Item 3.5.2 - Agregação em segmentos homogêneos**.

O número de passadas por segmento deve ser obtido e definirá o tamanho da amostra e o Caso de Monitoramento.

L – Verificação do Caso de monitoramento

Após a agregação, deve-se verificar o caso do monitoramento a qual a viagem a ser monitorada está categorizada. O Caso 1 refere-se às agregações realizadas apenas sobre os dados de viagens históricas do mesmo veículo na mesma rota a ser monitorada, o Caso 2 usa dados de vários veículos na mesma rota e o Caso 3 se baseia em dados de vários veículos em rodovias de mesma classe daquela a ser monitorada. Assim, é esperado que a maior precisão dos resultados seja relativa ao Caso 1 e a menor para o Caso 3.

A verificação do Caso de monitoramento se baseia no tamanho da amostra de cada segmento determinado no processo da agregação que corresponde ao número de passadas por segmento.

- ✓ Verificação do Caso 1 – Primeiramente, é feita seleção apenas dos resultados da agregação dos dados pontuais em segmentos, referentes às passadas do **mesmo veículo** da viagem a ser monitorada. Verifica-se então a condição a seguir, conforme explicado no **Item 3.5.1 - Agregação dos pontos GPS nos arcos da rodovia.**

  Se tamanho da amostra ≥ 30, ⇒ Caso de monitoramento = Caso 1

  Se tamanho da amostra < 30 ⇒ Caso de monitoramento = Caso 2 ou 3

- ✓ Verificação do Caso 2 (caso não seja verificado o Caso 1) **–** Seleciona-se os resultados da agregação dos dados pontuais em segmentos, referentes

às passadas de **todos os veículos**, na rota a ser monitorada. Verifica-se a condição a seguir:

Se tamanho da amostra ≥ 30, ⇒ Caso de monitoramento = Caso 2

Se tamanho da amostra < 30 ⇒ Caso de monitoramento = Caso 3

Assim define-se o Caso de monitoramento, se forem Casos 1 ou 2, a próxima etapa a ser realizada é a **N – Geração de tabela de dados de segmentos**. Se o for definido o Caso 3, a etapa seguinte é a **S – Definição de rodovia de mesma classe**.

- **Estatísticas/ Produtos**

M – Retirada de pontos fora da distribuição

São gerados gráficos de intervalos de confiança, diagramas de caixa e estatísticas gerais: tempos de percurso (médios e mediana), velocidades (médias e medianas) e desvios padrão.

Os intervalos de confiança são proporcionais aos desvios padrão e representam outra abordagem para conhecer a precisão da estimativa. O modelo que define o intervalo de confiança para a média de uma distribuição normal com variância desconhecida está a seguir:

$$Intervalo_de_confiança = 2 * t_{\propto/2-1} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Onde:

s é o desvio padrão da amostra;

$t_{\propto/2-1}$ é o ponto superior 100 α/2 % da distribuição t;

n-1 é o grau de liberdade.

Usa-se então a técnica de diagrama de caixas para identificar os outliers. Sobre esse conjunto de dados, determinam-se os pontos que não fazem parte da distribuição e devem ser retirados da análise. Para isso, deve-se obedecer a seguintes condições:

- Outliers do diagrama de caixas correspondentes a passadas com apenas um segmento;
- Outliers do diagrama de caixas que apresentarem diferença de quilometragem entre o ponto mais próximo da saída do segmento e o ponto mais próximo da sua entrada menor ou igual a 30% do tamanho do segmento.

S – Definição de rodovia de mesma classe (Caso 3 de monitoramento)

Conforme explicado no item ***L – Verificação do Caso de monitoramento***, se os Casos 1 e 2 de monitoramento não forem verificados, o Caso do monitoramento é o Caso 3. Então, deve-se definir rodovia de mesma classificação na base que contenha dados amostrais suficientes para atingir o tamanho mínimo de amostra.

Após essa identificação, inicia-se novamente o processo do item ***C – Seleção da rota a ser estudada,*** até realizar a nova agregação e a amostra atender à restrição de tamanho mínimo.

N - Geração de tabela de dados de segmentos e estatísticas

Após a retirada dos resultados que não faziam parte da distribuição, calculam-se novamente os parâmetros de tempos de percurso (média e mediana), velocidades (média e mediana), desvios-padrão e tamanho de amostra final.

É gerada Tabela de parâmetros dos segmentos com seus atributos, conforme mostrado na Tabela 3.2, que servirá de base ao monitoramento de novas viagens.

Tabela 3.2 - Tabela de parâmetros dos segmentos

Seg.	km entrada	km saída	Veloc. Média (km/h)	Veloc. Mediana (km/h)	Tempo Médio (min)	Tempo Mediana (min)	Nº Passadas tamanho da amostra	Desvio Padrão veloc. (km/h)
0	0	10	65	75,0	9,2	8,0	32	7,0
1	10	20	50	54,5	12,0	11,0	40	20,0
2	20	30	70	80,0	8,6	7,5	33	15,0
3	30	40	80	85,7	7,5	7,0	54	19,0
4	40	50	80	100,0	7,5	6,0	27	25,0
5	50	60	92	96,8	6,5	6,2	20	30,0
6	60	70	60	66,7	10,0	9,0	31	10,0
7	70	80	45	46,2	13,3	13,0	50	16,0
8	80	90	40	40,0	15,0	15,0	71	10,0
9	90	100	39	42,6	15,4	14,1	63	8,0
10	100	110	53	54,5	11,3	11,0	55	20,0

Essa tabela pode ainda ser integrada em GIS no processo de segmentação dinâmica para elaboração de mapas temáticos para visualização espacial dos resultados.

O – Geração da grade de monitoramento

Nesse momento, é necessário elaborar grade de monitoramento, na qual cada registro corresponde a um segmento da rota a ser monitorada, sendo o primeiro correspondente à origem da viagem e o último ao destino. Origem e destinos são informados pelo usuário. São incluídos os atributos de tempo de viagem e velocidade esperados por segmento, conforme o parâmetro escolhido resultante da agregação e os desvios padrão. É então calculado tempo acumulado previsto para passagem na entrada e saída dos segmentos, considerando que o tempo inicial zero corresponde à entrada do primeiro segmento da rota (origem informada pelo usuário), pelo seguinte modelo:

$$T_{ent_seg} = \sum_{i=0}^{n} t_{segmento} \quad (6)$$

Onde:

n é igual ao número de segmentos de rota a serem percorridos a partir do segmento associado à origem até o segmento correspondente;

$t_{segmento}$ é o tempo de percurso esperado para cada segmento de rota.

Com isso, já se tem uma previsão inicial dos tempos esperados de viagem por segmento e para a viagem inteira. Por fim, calcula-se o desvio padrão acumulado de cada entrada conforme modelo:

$$Desvio_padrão_{ent_seg} = \sum_{i=0}^{n} Desvio_padrão_{segmento} \quad (7)$$

Onde:

$Desvio_padrão_{segmento}$ é o valor de desvio padrão de cada segmento que compões a rota.

Ressalta-se que os tempos acumulados das entradas dos segmentos e o tempo acumulado da viagem inteira previstos **não** consideram os tempos de paradas eventuais da viagem.

Se houver o conhecimento dos locais e tempos de parada, é possível considerá-los no cálculo dos tempos de viagem acumulados esperados. Nesse caso, deve haver uma pequena adaptação do processo de geração dos tempos da grade de monitoramento. Ao tempo de entrada acumulado, deve-se somar a parcela referente aos tempos de parada de cada segmento, conforme modelo a seguir:

$$T_{ent_seg} = \sum_{i=0}^{n} t_{segmento} + \sum_{j=0}^{n} t_{parada} \quad (8)$$

Onde:

t_{parada} é o tempo de parada associado a cada segmento.

Por sua vez, o cálculo do desvio padrão acumulado deve contemplar a parcela referente à somatória dos desvios padrão dos tempos de cada parada por segmento.

$$Desvio_padrão_{ent_seg} = \sum_{i=0}^{n} Desvio_padrão_{segmento} + \sum_{i=0}^{n} Desvio_padrão_parada_{segmento}$$

(9)

Onde:

Desvio_padrão_parada$_{segmento}$ é o desvio padrão associados aos tempos de parada de cada segmento.

P – Processo de monitoramento

O processo de monitoramento é realizado para cada nova viagem a ser monitorada e é detalhado no **Capítulo 4 -**

PROCESSO DE MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VEÍCULOS**.**

R – Pontos GPS dos monitoramentos

No processo de monitoramento são coletados pontos GPS continuamente que retro-alimentam a base **A – Dados GPS** usada na definição dos padrões de viagem.

Q - Processo exógeno de geração de padrões para os arcos de rede

Esse é um processo paralelo à geração de padrões dos segmentos e tem como objetivo subsidiar roteirizações, podendo também subsidiar o dimensionamento e planejamento temporal da viagem e estudos de comportamentos de desempenho

de rede. Apesar de não ser simulada nesse trabalho, são apresentadas etapas e desenho do processo relacionado.

Inicialmente, deve-se determinar para os nós de rede viária as quilometragens em relação à rota, da mesma forma que é aplicada para os pontos GPS. Relacionam-se também cada ponto GPS à rodovia pela determinação do atributo arco (link) de rede e nó de rede mais próximos. Isso é feito por meio de funções de vizinhança em GIS, inserindo na tabela de pontos valores para os campos "ID_arco" (identificador de cada arco de rede rodoviária) e ID_nó (identificador do nó de rede).

Após conclusão desse subprocesso e a partir da base de passadas gerada, realiza-se a agregação nos arcos de rede por uma adaptação do algoritmo desenvolvido para agregação em segmentos. Ele percorre sequencialmente as passadas que passam nos arcos de rede e, para as quilometagens relativas aos pontos de entrada (km_nó_inicial) e de saída (km_nó_final) do arco, associam-se valores acumulados de tempo e calcula-se o tempo de percurso do arco correspondente a cada passada pelo modelo:

$$t_{arco} = t_{nó_final} - t_{nó_inicial}$$

Onde:

$t_{nó_final}$ é o tempo acumulado associado ao nó final do arco;

$t_{nó_inicial}$ o tempo acumulado associado ao nó inicial do arco.

A partir daí, calcula-se a velocidade média pela mesma fórmula de agregação em segmentos:

$$v_{arco} = \frac{d}{t_{arco}} \quad (10)$$

Onde:

d é o comprimento do arco, usado no lugar do tamanho do segmento;

t_{arco} é o tempo de percurso no arco de rede.

Sobre os resultados, calculam-se os parâmetros para os arcos tais como média, mediana e desvios padrões sobre todas as passadas.

A Figura 3.14 representa o desenho desse processo.

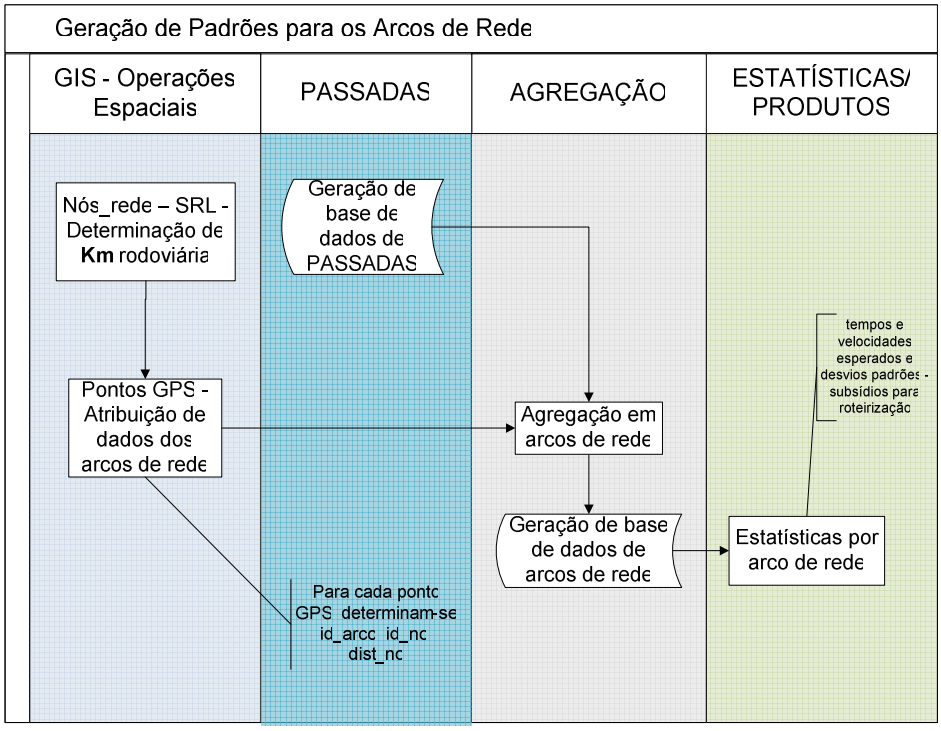


Figura 3.14 – Processo de Geração de Padrões de viagem para arcos de rede

3.8 CONSIDERAÇÕES E PREMISSAS

Como mencionado, os dados GPS base para os monitoramentos são provenientes de viagens históricas. Por hipótese, admite-se que padrões de viagem gerados a partir de dados passados são representativos dos padrões do futuro.

No entanto, é possível que seja feita alguma intervenção física na rodovia como uma obra de pavimentação, entre outras, que altere os padrões a partir de determinada data. A verificação de mudança de padrão com o tempo não está prevista nesse trabalho. Apesar disso, se a informação da intervenção existir, é possível retirar os dados referentes aos padrões antigos e gerar os padrões só para os dados após a intervenção. Como continuidade, sugere-se que seja criado método de identificação automática de mudanças de padrão como tempo.

Outra questão importante é a definição das premissas e condições de contorno dos processos de geração de padrões aqui descritos. Como exemplo, tem-se a distância de cerca, critérios de tempo estacionado, distância de influência da parada, entre outros. Foram expostos os fatores que influem em suas definições. Todavia, eles variam conforme o monitoramento, qualidade, quantidade de dados, escala etc., e podem ser redefinidos à medida que ocorrem monitoramentos.

Há uma *learning curve* (curva de aprendizado) para a melhor definição de tais parâmetros.

4 MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VIAGENS DE FROTA DE VEÍCULOS

4.1 INTRODUÇÃO

A partir da aplicação do processo para geração de padrões definido no **Capítulo 3 - GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM**, são determinadas as referências para o monitoramento do progresso de novas viagens cujo processo é aqui proposto. Sobre uma grade de monitoramento criada no processo de geração de padrões, é então aplicado o componente desse monitoramento, que deve estar integrado ao sistema AVL e ser processado em paralelo com eventuais outros subprocessos. Cada ponto GPS levantado é enviado pelo sistema AVL à central de operações que realiza as consultas específicas. É importante lembrar que cada ponto coletado no monitoramento retroalimenta imediatamente a base de dados de geração de padrões, que funciona como um repositório de pontos, conforme apresentado no **Item 3.2 – Processo Geral**.

Para cada ponto GPS coletado no monitoramento, o processo proposto visa responder às seguintes perguntas:

- **Progresso de viagem do veículo**
  - Qual o valor da quilometragem (km) do veículo com referência à rota monitorada?
  - Qual o valor de tempo acumulado de viagem que era esperado para a quilometragem do ponto (sem considerar previsões de paradas)?
  - Qual o valor do desvio entre o tempo real de viagem e o tempo acumulado esperado para esse local? Qual o índice de desvio relacionado?
  - Qual a tolerância permitida relacionada a esse desvio?

- Qual a aderência do progresso da viagem? Qual o estado do veículo (atrasado, adiantado ou progride conforme esperado)?

- **Saída da rota**
  - O veículo saiu da rota monitorada? Se houve a saída, em que quilometragem o veículo teve o último ponto coletado ainda na rota?
  - Qual a distância em relação à rota?
  - A qual rodovia o ponto está associado, desde que haja a saída da rota prevista e em qual quilometragem está em relação a essa outra rodovia?
  - Se o ponto coletado imediatamente antes estiver fora da rota, houve um retorno à rota?
- **Paradas**
  - O veículo está parado? Em torno de que quilometragem e segmento da rota? Por quanto tempo o veículo está parado?
  - No caso de haver parada, ela corresponde a um local de parada freqüente para esse veículo. E para os demais veículos?
- **Mudança de Sentido**
  - O veículo realizou uma mudança de sentido? Em torno de que quilometragem?
  - Essa mudança de sentido era prevista em relação à rota informada pelo usuário antes da viagem?

4.2 ADERÊNCIA DO PROGRAMADO x REALIZADO

Como exposto, um dos objetivos desse trabalho é definir índice de desempenho que represente a aderência do progresso da viagem, em termos de tempo de

percurso, em relação a valores esperados ou a uma programação. Ele depende do desvio entre o tempo real e o tempo esperado e da tolerância permitida para esse desvio.

Assim, para cada ponto coletado no monitoramento, são calculados os seguintes atributos:

- **Desvio$_{ponto}$**

$$Desvio_{ponto} = T_{ponto_real} - T_{ponto_esperado} \quad (11)$$

Onde:

T_{ponto_real} é o tempo acumulado desde o início da viagem;

$T_{ponto_esperado}$ é o tempo acumulado esperado para o ponto, calculado a partir dos tempos esperados dos segmentos percorridos.

Para cálculo do $T_{ponto_esperado,}$ aplica-se:

$$T_{ponto_esperado} = T_{ent_seg} + T_{interp_seg} - T_{início} \quad (12)$$

Onde:

$T_{\text{ent_seg}}$ é o tempo acumulado de entrada do segmento associado ao ponto, valor a ser buscado na grade de monitoramento e calculado no processo de geração de padrões de viagem;

T_{interp_seg} é o valor do tempo de percurso interpolado desde km de entrada do segmento associado ao ponto até km do ponto coletado;

$T_{início}$ é o tempo de percurso acumulado referente à origem real da viagem.

A seguir, estão os modelos de cálculo de T_{interp_seg} e $T_{início}$:

$$T_{interp_seg} = \left(Km - Km_{ent_seg}\right) * fator_1$$

$$T_{início} = T_{ent_seg_início} + \left(Km_{início} - Km_{ent_seg_início}\right) * fator_1 \quad (13)$$

$$fator_1 = \frac{tempo_de_percurso_{seg}(mediana)}{L} \quad (14)$$

Onde:

$T_{\text{ent_seg_início}}$ é o tempo acumulado de entrada do segmento associado ao ponto de origem real da viagem, valor a ser buscado na grade de monitoramento e calculado no processo de geração de padrões de viagem;

fator_1 é a razão entre o tempo de percurso no segmento e seu comprimento, usado para transformar a distância em tempo na interpolação.

- **Índice_Desvio$_{ponto}$**

$$Índice_Desvio_{_ponto} = \frac{Desvio_{ponto}}{T_{ponto_esperado}} \quad (15)$$

Que corresponde a indicador relativo de atrasos ou adiantamentos.

- **Tolerância$_{ponto}$**

A *Tolerância$_{ponto}$* corresponde ao limite de desvio entre o tempo real de um ponto coletada na viagem e o tempo esperado que se permita ter. Ela é calculada pelo modelo seguinte:

$$Tolerância_{ponto} = Desvio_padrão_{ponto} * a \quad (16)$$

$$Desvio_padrão_{ponto} = \lfloor Desvio_padrão_{ent_seg} + Desvio_padrão_{\text{int}erp_seg} \rfloor \quad (17)$$

$$Desvio_padrão_{ponto} = Desvio_padrão_{ent_seg} + Desvio_padrão_{\text{int}erp_seg} - Desvio_padrão_{início}$$

(18)

$$Desvio_padrão_{\text{int}erp_seg} = \lfloor \left(Km - Km_{ent_seg}\right) * fator_2 \rfloor \quad (19)$$

$$Desvio_padrão_{início} = Desvio_padrão_{ent_seg_início} + \left(Km_{início} - Km_{ent_seg_início}\right) * fator_2$$
(20)

$$fator_2 = \frac{Desvio_padrão_{seg}(mediana)}{L} \quad (21)$$

Onde $Desvio_padrão_{ponto}$ é o desvio padrão para cada ponto, calculado em função dos desvios padrão dos segmentos percorridos desde o início da viagem até o instante do ponto;

$Desvio_padrão_{ent_seg}$ é calculado na geração de padrões e inserido na grade de monitoramento;

Onde $Desvio_padrão_{interp_seg}$ é o valor do desvio padrão do tempo de percurso interpolado desde km de entrada do segmento associado até km do ponto coletado;

$Tolerância_{início}$ é a tolerância associada ao ponto de origem real da viagem;

$Desvio_padrão_{ent_seg_início}$ é o desvio padrão da entrada do segmento associado ao ponto de origem real da viagem, valor a ser buscado na grade de monitoramento e calculado no processo de geração de padrões de viagem;

$fator_2$ é a razão entre desvio padrão associado ao segmento (calculado pela mediana) e seu comprimento, usado para transformar distância em desvio-padrão na interpolação.

a é constante definida pelo usuário, em função de fatores como tipo e valor da carga e outros que exigem tolerâncias menores ou maiores.

- **Aderência**

Enfim, a aderência é medida pelo índice de desempenho a seguir:

$$Aderência_{ponto} = \frac{Tolerância_{ponto}}{\left|Desvio_{ponto}\right| + Tolerância_{ponto}} \quad (22)$$

A aderência pode assumir valores em uma faixa de 0 a 1. A partir da aderência e dos desvios, o processo é capaz de calcular o estado do veículo em termos do progresso de sua viagem, conforme a seguir:

Se 0,5 ≤ $Aderência$ ≤ 1 ⇒ ESTADO PROGRESSO = “conforme esperado”

Se $Aderência$ < 0,5 e Desvio > 0 ⇒ ESTADO PROGRESSO = “atrasado”

Se $Aderência$ < 0,5 e Desvio < 0 ⇒ ESTADO PROGRESSO = “adiantado”

A aderência assume o valor “1”, quando o Desvio for “0”, o que significa aderência máxima, ou seja, quando os tempos reais de progresso forem exatamente iguais a aos tempos previstos. Ela assume valores maiores que 0,5 quando o Desvio for menor ou igual à tolerância, ou seja, quando estiver dentro do previsto em termos de tempo de viagem, premissa adotada para medição do progresso da viagem.

Por outro lado, quando aderência for menor do que “0,5”, a viagem não está conforme prevista, pois o desvio supera o valor da tolerância. Nesses casos, se o desvio for positivo, o estado será “atrasado” e se o desvio for negativo, o estado será “Adiantado”.

A aderência tende a “0” (aderência mínima) quando o Desvio assume valores extremamente altos, nos casos de tempos reais de progresso muito diferentes dos projetados para a viagem.

4.3 PROCESSO DE MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VEÍCULOS

O monitoramento em sistemas AVL é um processo que coleta e transmite posições (em coordenadas) de veículos com GPS embarcado, segundo uma freqüência de coleta pré-definida, de acordo com alguma regra ou a qualquer instante que o usuário requisitar. Essas posições, em processos convencionais, são apresentadas em GIS para análise de não conformidades, por método visual.

O processo de monitoramento aqui proposto visa automatizar consultas que disponibilizem ao usuário informação útil do andamento da viagem. Esse aplicativo agrega valor ao processo tradicional de monitoramento, uma vez que não apenas informa posições de veículos, mas realiza interpretações espaço-temporais.

Como exemplo, o processo informa se determinado veículo deveria estar em certo local e instante, calcula desvios de tempo de viagem concluindo se tais desvios estão além do limite de tolerância, identifica eventos, tais como paradas, saídas de percurso e retornos.

Enfim, mede a aderência entre o realizado e esperado em termos de tempo de viagem, além de fornecer subsídios para comparação entre eventos esperados e realizados. A contribuição fundamental desse processo está na capacidade de gerenciar muitos veículos ao mesmo tempo.

A

Figura 4.1 mostra modelagem de dados desse processo baseada no modelo GEO-OMT e elaborada na linguagem UML em Microsoft Visio 2007. Esse modelo representa os dados para processo de monitoramento de um único veículo. É importante lembrar que os dados gerados pelo sistema AVL são dinâmicos e alimentam a tabela de pontos GPS, segundo freqüência de coleta definida. A cada recebimento, o aplicativo realiza os cálculos listados na parte de operações da tabela.

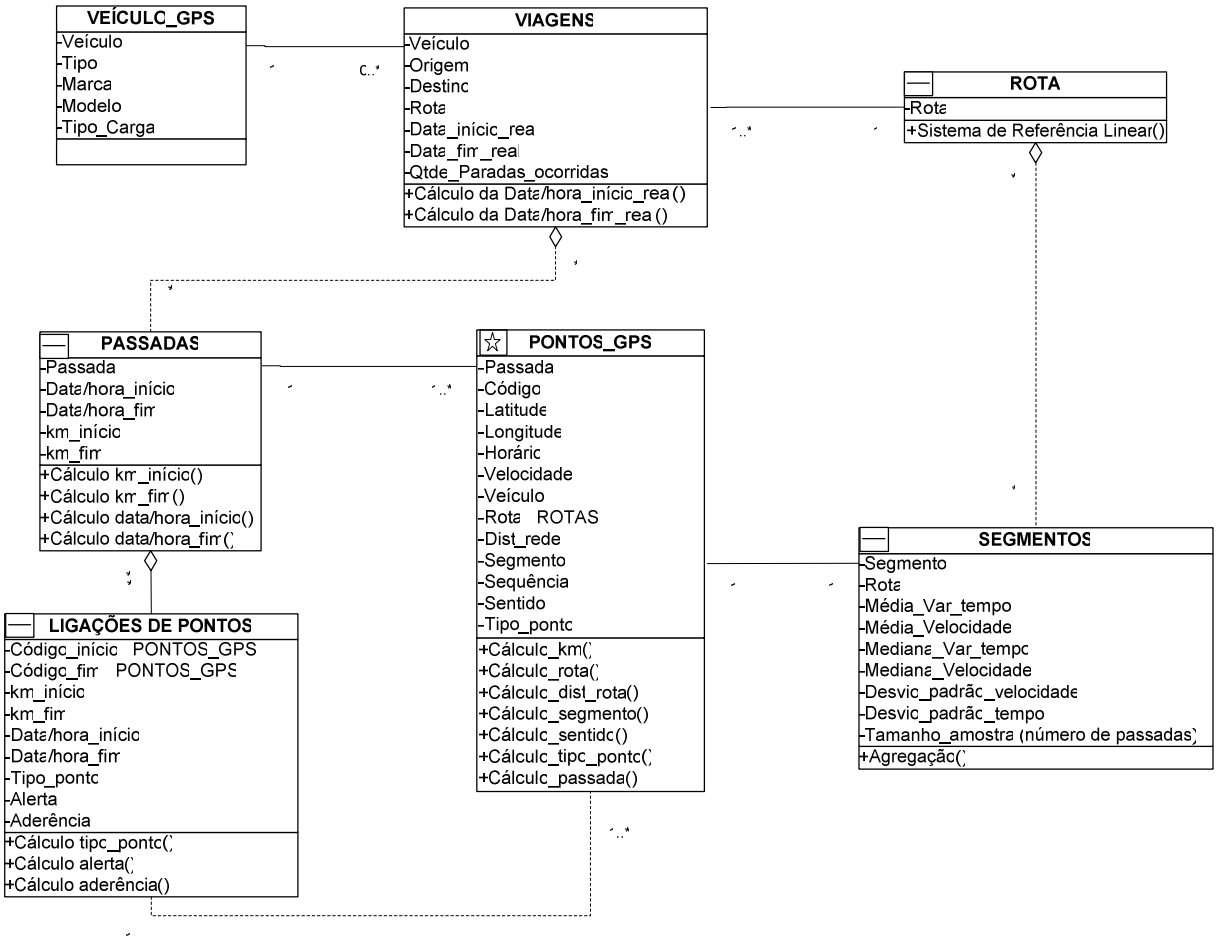


Figura 4.1 – Modelo de Dados para o Monitoramento do Progresso de Viagens

Como o processo refere-se ao monitoramento de veículo único, a **Tabela Veículo_GPS** apresenta atributos apenas desse veículo. Já a **Tabela Viagens** pode apresentar mais de uma viagem programada para ele. Cada viagem dessa tabela deve ter uma rota informada pelo usuário na **Tabela Rota**, que contém de um a muitos segmentos de rota na **Tabela Segmentos**, definidos na fase de geração de padrões.

Para cada ponto gerado dinamicamente, são calculados os atributos listados nas operações da **Tabela Pontos_GPS**. Um desses atributos é o segmento ao qual o ponto pertence, de modo que a **Tabela Pontos GPS** possa ser associada à **Tabela Segmentos** por esse campo.

A **Tabela Ligações** de pontos visa padronizar a armazenagem dos pontos GPS e facilitar o cálculo do tipo dos pontos e passadas. Essas ligações também representam a trajetória do veículo entre dois pontos consecutivos adotando a hipótese de deslocamento reto entre eles.

Por meio do encadeamento dessas ligações de pontos é possível então formar a trajetória inteira do veículo (rastro) que representa o histórico do movimento. As passadas são uma especialização da trajetória, correspondendo apenas aos trechos válidos de movimento, ou seja, delimitado pelas descontinuidades. Como nesse trabalho, o interesse maior está nas passadas e não na trajetória, a mesma não foi inserida no modelo.

Pelo exposto, identificam-se a seguir as tabelas cujos dados são dinâmicos, que podem ser atualizados a cada instante de coleta de pontos GPS, e quais tabelas apresentam dados estáticos, ou seja, não são alterados durante o processo de monitoramento de uma viagem, apenas nos demais processos relacionados.

- **Tabelas de dados estáticas**: Veículo, Rota e Segmentos e Viagens.
- **Tabelas de dados dinâmicos**: Pontos_GPS, Passadas, Ligações de Pontos_GPS.

Na Figura 4.2, é apresentado fluxograma referente ao processo de monitoramento do progresso de viagem. Conforme comentado, ele é iniciado após o término da geração dos padrões que fornece dados referentes à viagem, rota e segmentos (grade de monitoramento). As atividades representadas no fluxograma por um círculo correspondem aos processos dinâmicos de coleta GPS mencionados.

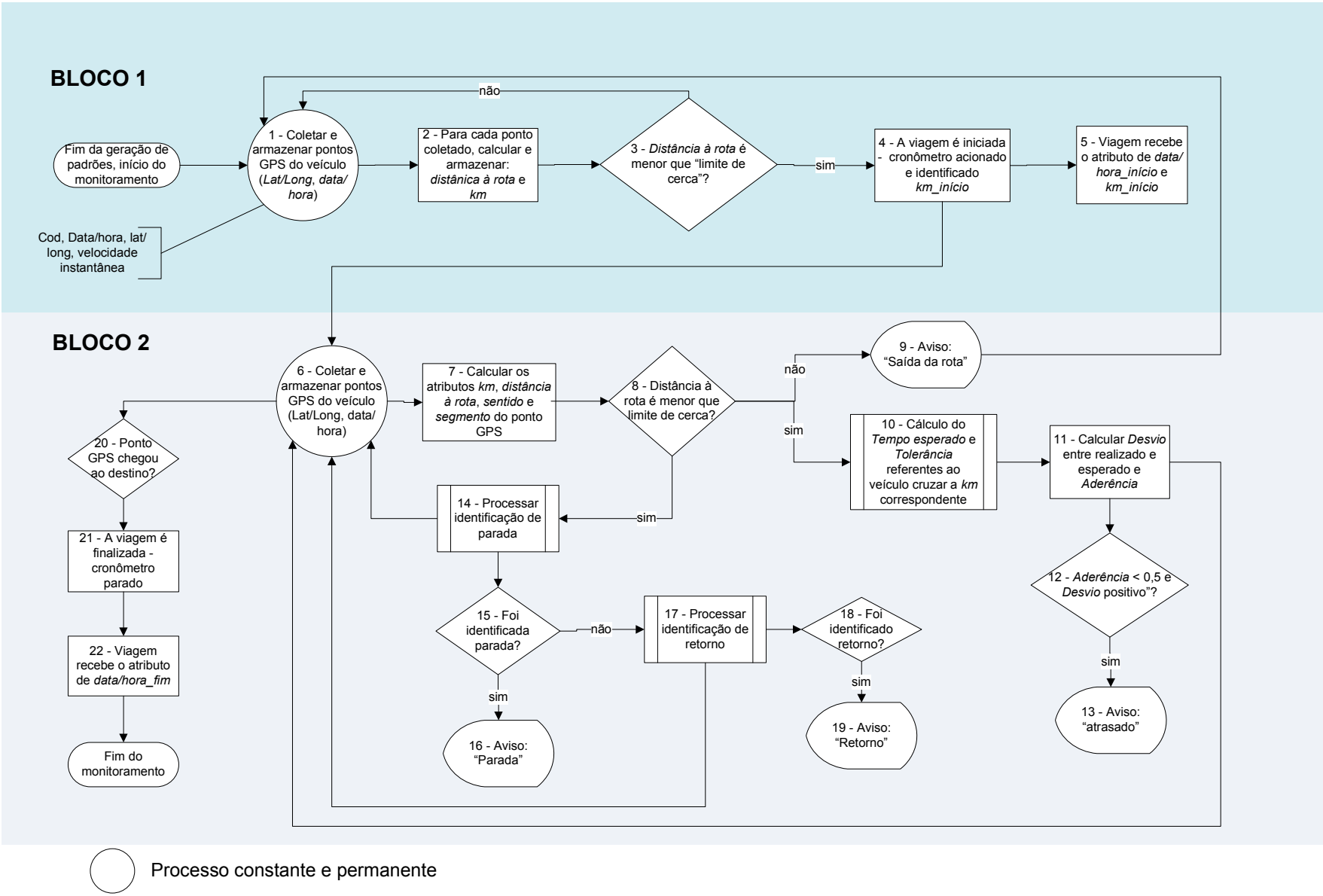


Figura 4.2– Fluxograma do Processo de Monitoramento do Progresso de Viagem

No processo, há uma fase preliminar que visa identificar quando e onde a viagem é iniciada, representada pelo BLOCO 1. Esse instante corresponde à entrada do veículo nos limites da rota, ou seja, quando ele pela primeira vez no processo localize-se à distância da rota menor do que o valor determinado para a cerca virtual. Quando houver essa ocorrência, são identificados o tempo acumulado e a quilometragem, conforme etapas de 1 a 5 da Figura 4.2.

A partir desse início, passa-se às etapas do BLOCO 2. Na etapa 6, os pontos continuam sendo coletados e para cada um deles, devem ser calculados rota, km, distância da via, sentido e segmento (etapa 7). A partir desses atributos, é possível responder às perguntas pretendidas pelo sistema e gerar avisos quando necessário.

A primeira consulta do BLOCO 2, feita para cada ponto, é relativa à saída do veículo da rota, verificado na pergunta da etapa 8. Se ela for verificada, ou seja, se o ponto estiver a uma distância da rota maior do que o limite estipulado pela cerca, é gerado aviso ao usuário. Nesse caso, não são verificadas demais ocorrências de paradas, mudanças de sentido e estado do progresso da viagem, já que para veículos que não se encontram na rota programada tais ocorrências não se aplicam.

Desse modo, retorna-se ao BLOCO 1, quando o próximo ponto é então coletado, atributos calculados e verificado se houve um novo início da viagem. Esse processo se repete até o novo início ser identificado e sempre que houver uma saída da rota.

Voltando-se à pergunta da etapa 8 da Figura 4.2, se o ponto estiver dentro da rota, são feitas verificações de estado do progresso (etapas de 10 a 13) e de ocorrência de parada paralelamente (etapas de 14 a 16). Na primeira, são calculados parâmetros indicados nas etapas 10 e 11, conforme definido no **Item 4.2 - ADERÊNCIA DO PROGRAMADO x REALIZADO**. A partir deles, é realizada consulta sobre a aderência e desvios conforme indicado na etapa 12.

Quando a aderência for menor do que 0,5 e o desvio for positivo, o aplicativo gera aviso de “veículo atrasado” (etapa 13). Se for menor do que 0,5 e o desvio negativo, ao estado de progresso valor de “adiantado” é atribuído, no entanto não é gerado aviso. Já quando a aderência for maior que 1, o estado do progresso recebe valor de “conforme esperado”, mas também não é gerado aviso.

A cada ponto coletado, o usuário tem ainda a opção de “zerar” atrasos. Essa função é útil para os casos em que a causa do atraso já tenha sido identificada e seu efeito contornado, e não se queira acumular atrasos passados nas consultas futuras. O usuário pode adotar essa opção a qualquer momento, para o sistema executar a ação no próximo ponto levantado. Apenas para esse ponto, é aplicado o modelo a seguir de cálculo do Tempo esperado, no lugar de aplicar o modelo padrão definido no **Item 4.2 - ADERÊNCIA DO PROGRAMADO x REALIZADO**.

$$Tempo_{ponto_esperado} = Tempo\ real$$

Esse cálculo é feito pelo sistema na etapa 10, “Cálculo do Tempo esperado e Tolerância referentes ao cruzamento do veículo na km correspondente”.

Já a verificação da ocorrência de parada é feita pela execução do processo 14, conforme algoritmo explicado no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**, lembrando-se que uma parada ocorre quando o veículo permanece estacionado (variação de km<=2,5km) durante tempo maior que o “tempo estacionado” definido, conforme visto anteriormente.

Além disso, quando for identificada uma parada, é feita comparação com a base de Paradas correspondente ao veículo para verificar se paradas ocorrem com freqüência no mesmo segmento. Caso positivo, o sistema gera alerta de “parada em local freqüente”, caso contrário o aviso é de “parada em local não freqüente”.

Por fim, depois de verificada parada e caso ela não ocorra, é verificado se aconteceu mudança de sentido, conforme etapa 17. Em uma parada, muitas vezes as quilometragens dos pontos variam continuamente, devido aos erros de

posicionamentos de GPS ou por pequenos deslocamentos em torno do ponto de parada. Isso ocorre pelo fato do veículo estar estacionado em torno de um ponto e não por ter havido retorno. Por isso, optou-se por só processar esse algoritmo apenas no caso de não ocorrer parada, de modo a evitar essa ambigüidade.

O algoritmo de mudança de sentido é o mesmo detalhado no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS** com pequena adaptação. Além de identificar mudança do sinal da variação de km entre pontos consecutivos, deve-se verificar se essa mudança é consolidada. Isso é feito verificando se o deslocamento após mudança de sentido atingiu distância de percurso de aproximadamente 15 km. Essa verificação serve para não considerar como aqueles pontos que apenas oscilaram no posicionamento, mas não corresponde à mudança de sentido efetiva. Se verificada a mudança, é gerado aviso conforme etapa 19.

O BLOCO 2 do processo é repetido permanentemente até que se identifique o fim da viagem, correspondente ao momento em que a quilometragem calculada corresponda ao destino da viagem (etapas 20 a 22).

4.4 CONTINUIDADES E SUBPRODUTOS

Foi aqui definido processo geral integrado de geração de padrões de viagens e monitoramento do progresso de viagens de carga. Diante da amplitude de aplicações relacionadas, foram identificadas frentes de continuidades e subprodutos desse trabalho.

Em relação às continuidades, é importante aprimorar o processo de determinação do tamanho da amostra e realizar análises de influência de fatores nos padrões de viagem como tipo de veículo, período do dia, dia da semana, entre outros, para melhoria das estimativas de tempos nos segmentos de rota. Outra continuidade de interesse é a expansão da metodologia para aplicações em áreas urbanas, sendo necessárias reconsiderações quanto aos tamanhos dos segmentos de rota, freqüência de coleta dos dados, escala etc.. Cabe relembrar que nesses casos, a frequência de congestionamento e seus distúrbios são maiores, gerando maior variabilidade nos padrões de tempos de viagem e velocidades.

Há ainda subprodutos desse trabalho, à medida que os padrões gerados para os segmentos podem também subsidiar a própria programação da viagem. Se o usuário necessitar da programação dividida em deslocamentos (delimitados por kms de início e fim), os valores esperados e tolerâncias de tempo para cada um deles podem ser gerados. Com o monitoramento contínuo, principalmente para viagens cíclicas, as programações realizadas a partir da geração de padrões tendem a atingir patamares mais próximos do real. Se esta programação pré-definir ainda locais e tempos de paradas, é possível que o sistema, no monitoramento da viagem, verifique a aderência dos tempos para cada deslocamento, interprete os eventos identificados (paradas, mudanças de sentido, etc.) como previstos ou não na programação e compare tempos de parada previstos x realizados.

Os dados extras necessários para isso são:

- DATA/HORA DE EMBARQUE
- DESLOCAMENTOS PREVISTOS (KM INICIAL E KM FINAL)
- DATA/HORA DE INÍCIO E FIM DE CADA DESLOCAMENTO
- LOCAIS DE PARADAS PREVISTAS
- TEMPO DAS PARADAS PREVISTAS

Outra aplicação correlata é a geração de padrões para arcos de rede, cujo processo foi apresentado nesse trabalho. Um de seus possíveis usos é servir de base para roteirizações, com a vantagem de possibilitar atualizações mais freqüentes e análises probabilísticas.

Os padrões de tempos dos segmentos/arcos podem também ser usados em estudos de oferta de transporte como comportamento e desempenho de rodovias, análises de congestionamento, análise de impactos de projetos de infra-estrutura em termos de tempos de viagem, comparando-se parâmetros anteriores e posteriores à implantação entre outros de interesse de órgãos governamentais.

Por fim, existe ainda campo para aplicações voltadas a planejamento de demanda de transportes com análises de comportamento de viagens, escolhas de rota e obtenção do volume de transporte correspondente à demanda, pela análise de ocorrência dos pontos GPS.

Assim, o campo de desenvolvimento de aplicações a partir de dados GPS coletados dinamicamente em monitoramentos é grande e desafiador.

5 EXPERIMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Foram realizadas simulações para experimentar a metodologia proposta. Para tanto, foi seguido o processo geral para geração dos padrões de uma viagem e simulação do monitoramento do seu progresso.

5.1 DADOS UTILIZADOS

Os dados usados para subsidiar tal experimentação foram:

- **BASES GPS**
  - **BASE GPS GERAL -** Base de dados GPS com 2 milhões de registros de viagens em todo Brasil, coletados no período de fevereiro a março de 2007 em sistema de rastreamento com comunicação via satélite, que contém registros correspondentes a 10.087 veículos;
  - **BASE GPS – específica -** Base de dados GPS contendo 31.638 registros na mesma estrutura da tabela acima, mas correspondente a apenas 2 veículos, com dados coletados para ambos no período de março/08 a abril/08[2];

- **BASE DE REDE VETORIAL** – Rede com todas as principais rodovias brasileiras e sistema viário urbano de algumas cidades (Região Metropolitana de São Paulo, Rio de Janeiro, Campinas, Santos, entre outras).

[2] A base de dados GPS referente a 2008 foi extraída posteriormente para se obter dados em maior quantidade, referentes ao mesmo veículo

Um exemplo da estrutura e atributos contidos nas Bases GPS está mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Exemplo de estrutura e atributos das Bases GPS

DADOS-GPS : Tabela

CÓDIGO_PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	VELOCIDADE	DATA	VEÍCULO
115	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:27:01	61553
116	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:30:00	61553
117	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:32:59	61553
118	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:35:59	61553
118	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:38:59	61553
120	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:41:59	61553
121	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:44:59	61553
122	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:47:59	61553
130	-23.537821666666666	-46.830856666666662	0	2007-02-06 14:50:59	61553
140	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 01:47:07	35971
150	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 01:50:07	35971
200	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 01:53:07	35971
222	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 01:56:07	35971
246	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 01:59:07	35971
269	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 02:02:07	35971
300	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 02:05:07	35971
311	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 02:08:07	35971
329	-22.897829999999999	-47.097576666666662	0	2007-02-08 02:11:07	35971
420	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 03:47:39	32916
433	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 03:50:41	32916
456	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 03:53:43	32916
477	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 03:56:45	32916
500	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 03:59:47	32916
510	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 04:02:49	32916
566	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 04:05:51	32916
578	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 04:08:53	32916
593	-22.610146666666665	-47.008218333333325	0	2007-02-10 04:11:55	32916
606	-20.42425166666667	-54.585061666666661	0	2007-02-11 05:22:41	42813

Para manipulação e operações dos dados, foram usadas as ferramentas de GIS do TransCAD e de banco de dados do Access, para operações e gráficos estatísticos foi usado o Mini-Tab.

As coordenadas dos pontos das Bases de dados GPS apresentam formato decimal, com 15 casas decimais, no sistema de coordenadas WGS84. Conforme discutido no **Item 2.2 - Sistemas de Posicionamento GNSS**, os erros relacionados aos posicionamentos são da ordem de grandeza de 10 a 15 metros.

Adicionalmente, existem os erros associados à rede vetorial usada, da qual não se conhece a origem em termos de sistema de coordenadas. Por análise visual da sua plotagem em GIS sobreposta pelos pontos GPS, estima-se um erro médio entre pontos e rede da ordem de 250 metros, ressaltando que o erro varia conforme o trecho rodoviário em análise. Como não foi realizado ajuste da base

de rede aos pontos GPS, existem erros de levantamento GPS e erros da rede rodoviária acumulados.

5.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

De acordo com o processo global da Figura 3.1, o primeiro sub-processo realizado para geração dos padrões de viagem, foi a preparação de dados. Ela refere-se à limpeza inicial dos dados das Bases GPS, pela retirada de registros duplicados e compatibilização de formatos e projeções das Bases GPS em relação à Rede Vetorial, quando necessário.

Foram então retirados os pontos duplicados com auxílio do Access, o que resultou na redução de registros da Base GPS Geral de 2 milhões para 1.950.195 registros e da Base GPS – específica de 31.638 para 31.191 registros.

Em seguida, foi realizado o georreferenciamento dos dados das Bases GPS em GIS, através do software TransCAD, para visualização geral. A Figura 5.1 representa um mapa da distribuição espacial dos pontos resultantes da Base GPS Geral, referentes a múltiplos veículos, sobre base de estados do Brasil.

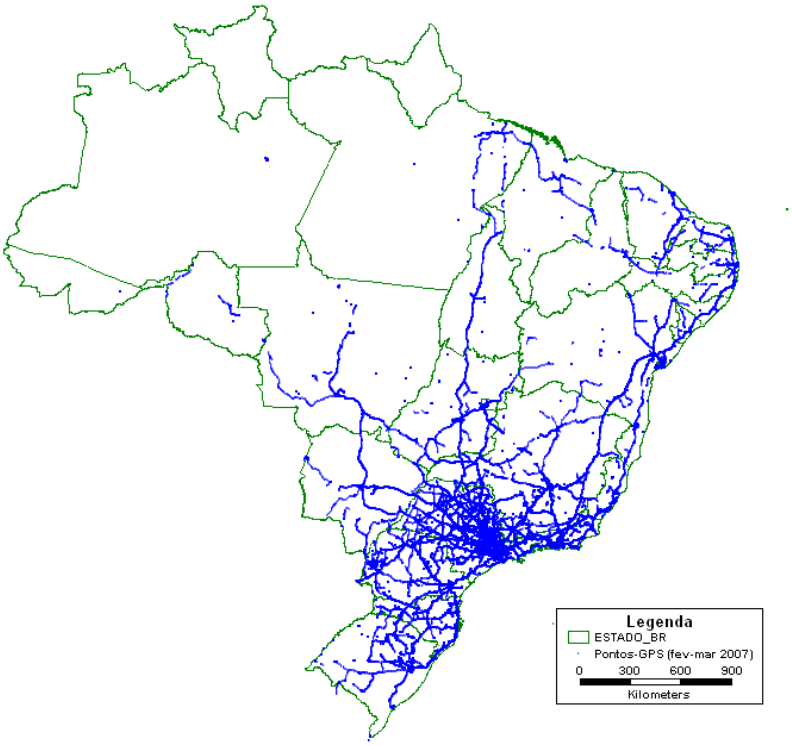


Figura 5.1 - Mapa de distribuição dos pontos GPS no Brasil, correspondentes à Base GPS Geral

Observa-se ainda na Figura 5.1 que os pontos GPS representam de maneira muito próxima o desenho da rede rodoviária. Fazendo uma analogia, é possível afirmar que os veículos que percorrem as rodovias coletando tais pontos correspondem a um processo de digitalização de mapas sobre uma mesa digitalizadora de escala 1:1.

A Figura 5.2 apresenta a Rede Vetorial das rodovias brasileiras usada.

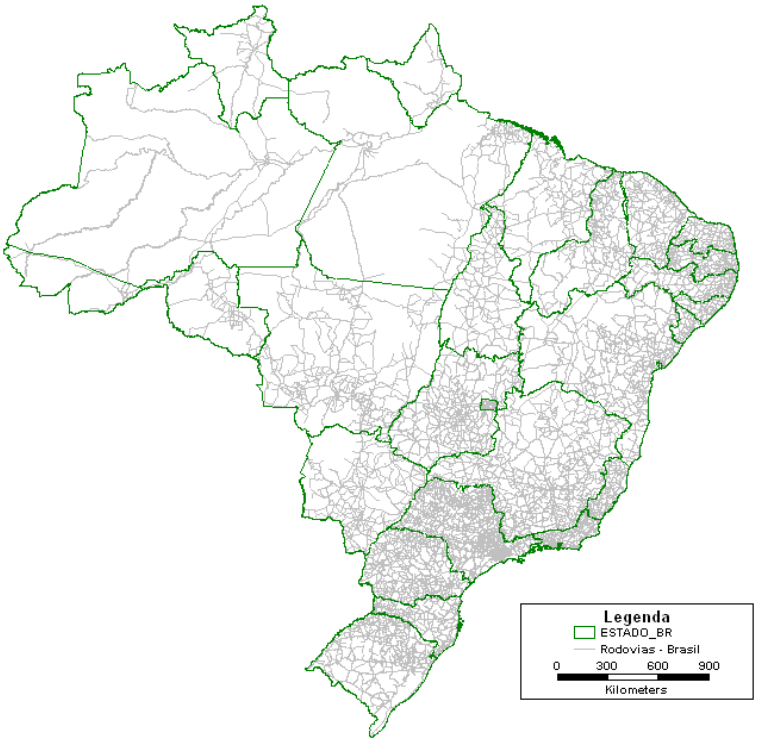


Figura 5.2 – Base de rede vetorial rodoviária brasileira, contendo malha municipal de alguns municípios

Já a Figura 5.3 mostra os pontos da Base Geral GPS plotados sobre a Rede Vetorial.

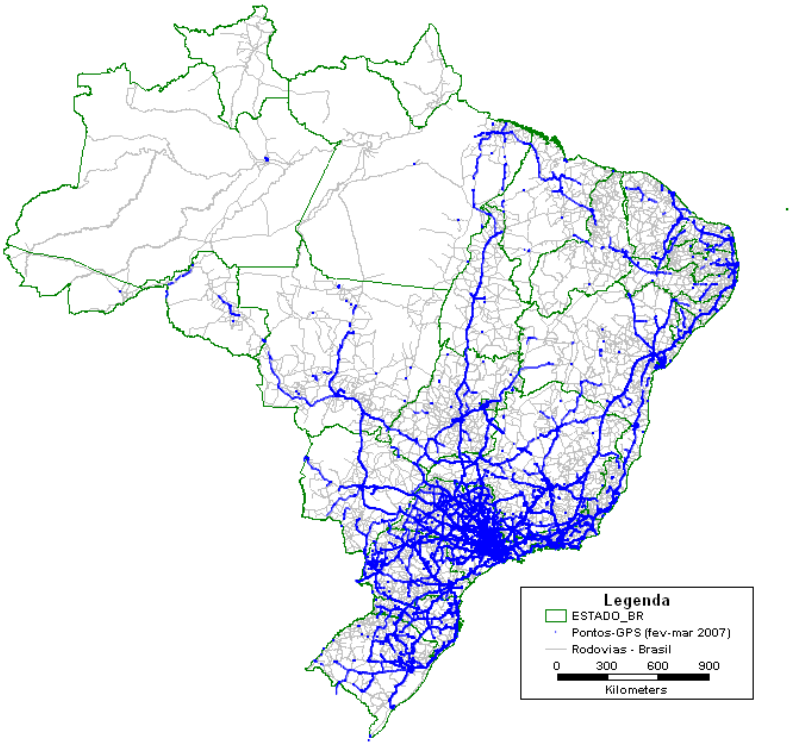


Figura 5.3 – Pontos GPS sobre rede vetorial rodoviária

Após a preparação dos dados, as bases tornaram-se prontas para receber a aplicação da metodologia de geração dos padrões que é realizada de acordo com a viagem a ser monitorada.

5.3 VIAGEM A SER MONITORADA

A alternativa usada para simular a realização de uma nova viagem, e testar o processo de monitoramento, foi selecionar dados GPS de uma viagem já realizada e por hipótese considerá-la como aquela a ser monitorada.

Foi então escolhida viagem ocorrida na BR-116 ao longo da ligação do Rio de Janeiro a São Paulo, pela sua importância ao conectar os dois municípios mais

populosos e de maior Produto Interno Bruto do Brasil e pela quantidade visual satisfatória de pontos de viagens associados para garantia de amostragens mínimas.

A Figura 5.4 representa um *zoom* dos pontos da Base GPS Geral sobre a Rede Vetorial, na região por onde a ligação de interesse da BR116 atravessa. Nota-se uma alta densidade de pontos no município de São Paulo, constatando esse município como o grande pólo gerador e atrativo de demandas por viagens.

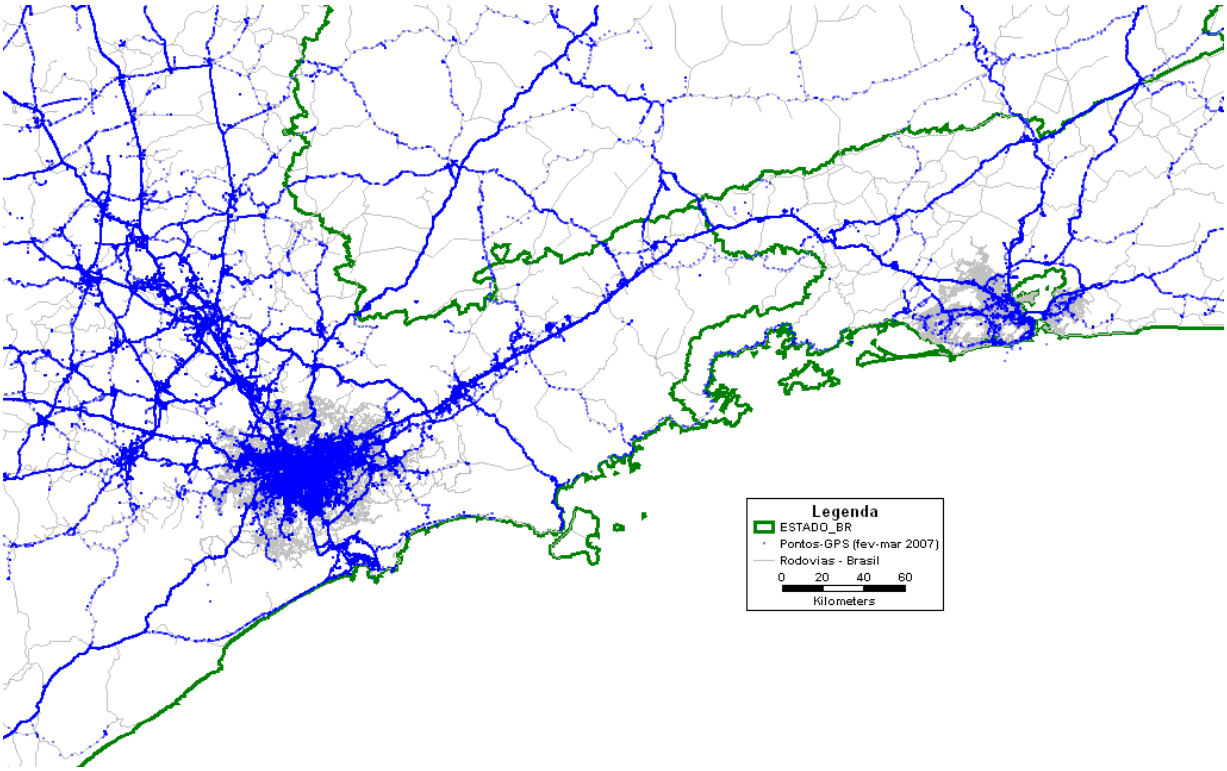


Figura 5.4 – *Zoom* dos pontos da Base Geral GPS no entorno do eixo São Paulo – Rio de Janeiro

Conforme explicado no **Item 3.7 - PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES**, é necessário o fornecimento de dados da viagem por parte do usuário para que se possa realizar a geração de padrões. Os dados mínimos necessários são: veículo, origem/destino e rota. Para a simulação, esses dados foram deduzidos pela análise de atributos da viagem selecionada.

Foi então escolhida viagem correspondente a veículo de carga que percorre com frequência essa ligação rodoviária. Sua seleção foi feita sobre a Base GPS – específica, pois esta se refere a período de um mês (março a abril de 2008), suficiente para se desenvolver várias viagens da ordem de distância dessa rota.

Sobre a Base GPS – específica, o veículo citado foi selecionado e seus pontos GPS plotados em GIS, para visualização do seu comportamento, representado pela Figura 5.5.

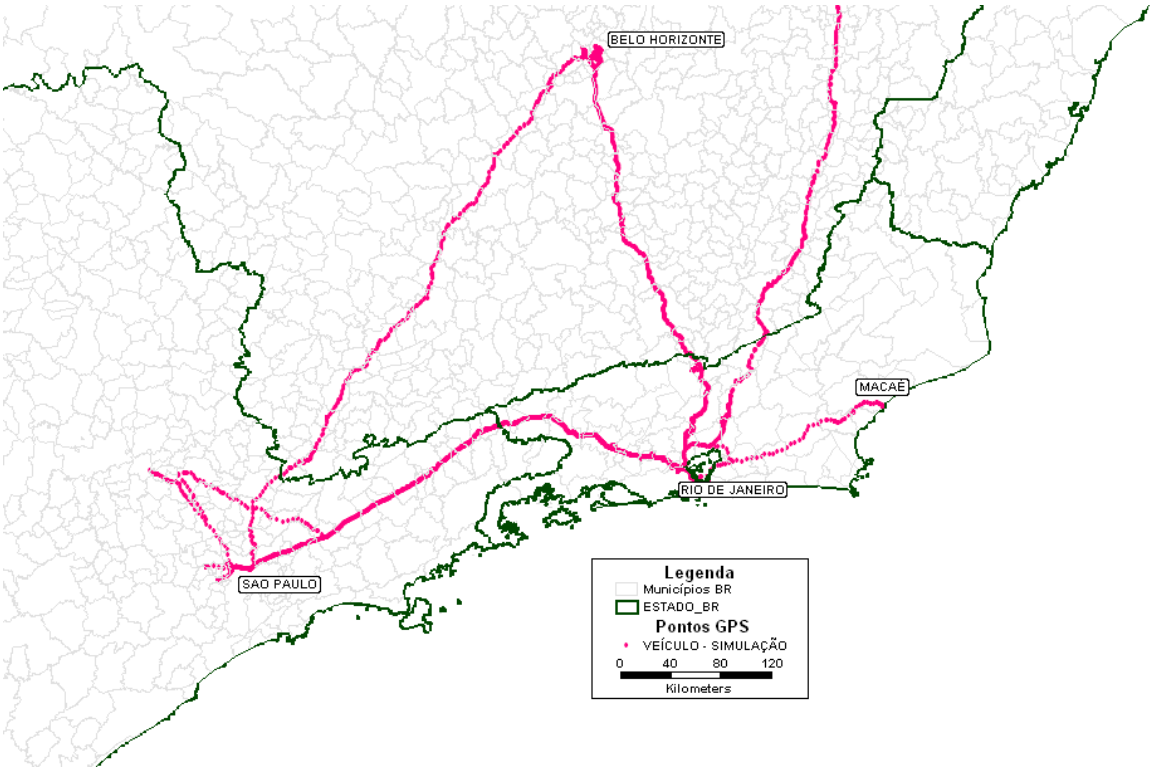


Figura 5.5 – Pontos GPS correspondentes ao veículo da viagem a ser simulada (março a abril de 2008)

Analisando os pontos desse veículo em sequência cronológica, percebe-se comportamento cíclico de trajetória com locais finais de parada e inversão de sentido (pontas) em alguns municípios como Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte entre outros. Isso é um indício de que tais municípios sejam origens e

destinos finais de coletas/entregas de mercadorias, já que se trata de veículo de carga.

Como não se tem nas Bases GPS recebidas informação de código de viagem de cada ponto e identificação de suas origens e destinos, tais valores foram definidos por hipótese. Então, foi adotado como viagem de simulação um conjunto de pontos em sequência cronológica correspondente ao movimento de um ciclo completo de ida e volta partindo de São Paulo para o Rio de Janeiro. A Figura 5.6 é um gráfico de tempo acumulado de viagem x quilometragens na BR-116 (São Paulo – Rio de Janeiro), representando o progresso espacial e temporal dessa viagem.

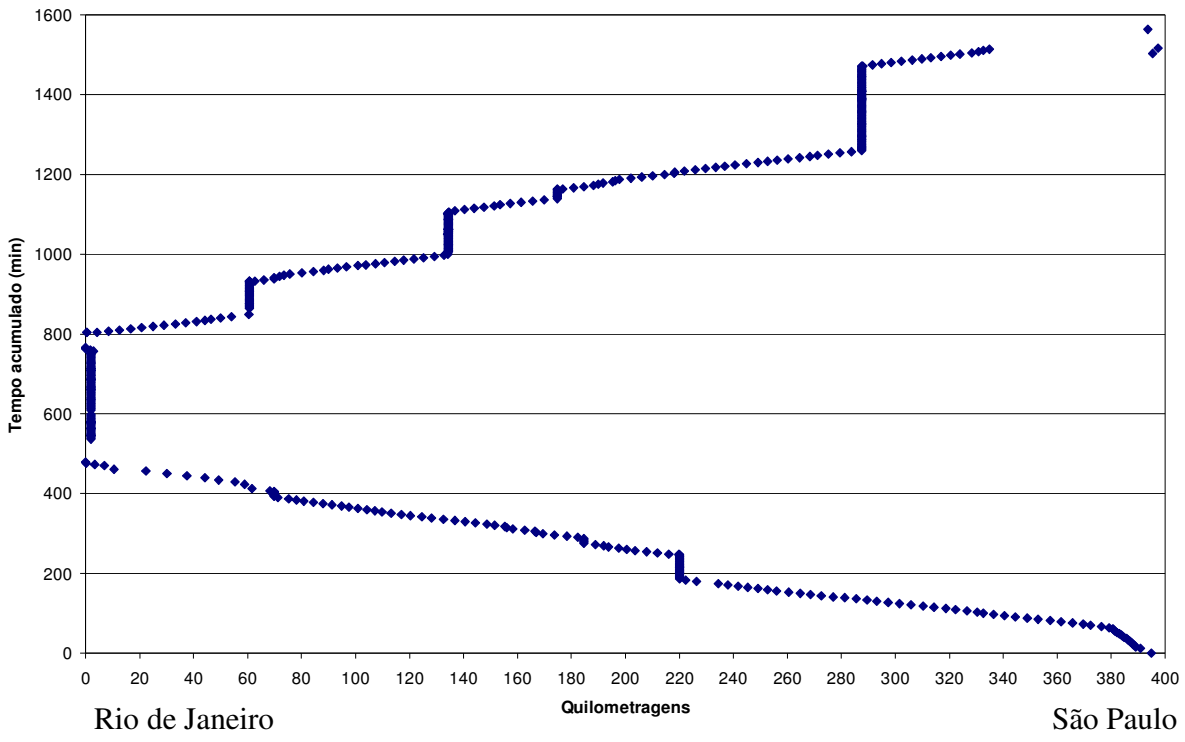


Figura 5.6 - Tempo acumulado de viagem x quilometragens na BR-116 – viagem a ser simulada

Para geração dos padrões, foram retirados os pontos referentes à viagem escolhida para a simulação da base GPS, para não gerar resultados viciados.

5.4 SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM

O passo seguinte foi gerar os padrões de viagem pela execução do processo da Figura 3.10.

5.4.1 Operações Espaciais em GIS

- **Seleção da rota e sua geração no sistema**

Primeiramente, criou-se a rota a ser simulada, em um sistema específico em GIS, sobre o qual foi possível aplicar funcionalidades de SRL (Sistema de referência linear) e segmentação dinâmica. O software utilizado para essas operações foi o TransCAD.

Foi gerada rede de transportes baseada na Rede Vetorial, que é composta pelos arcos da rede válidos para constituírem rotas. Após esse procedimento, selecionaram-se os arcos referentes à rodovia BR116 sobre a rede, em três ligações diferentes, e criou-se um sistema de rotas para a BR116 inteira, (processo D), dividida nas 3 rotas a saber:

- BR116-NORTE – Rota da BR116 referente à ligação entre Fortaleza (CE) e Rio de Janeiro (RJ);
- BR116-SP-RJ – Trecho da BR116 à ligação entre Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP);
- BR116-SUL – Trecho da BR116 entre à ligação entre São Paulo (SP) a Jaguarão (RS).

A Figura 5.7 representa esse sistema de rotas, sendo que a analisada nesse trabalho foi apenas a *BR116-SP-RJ*.

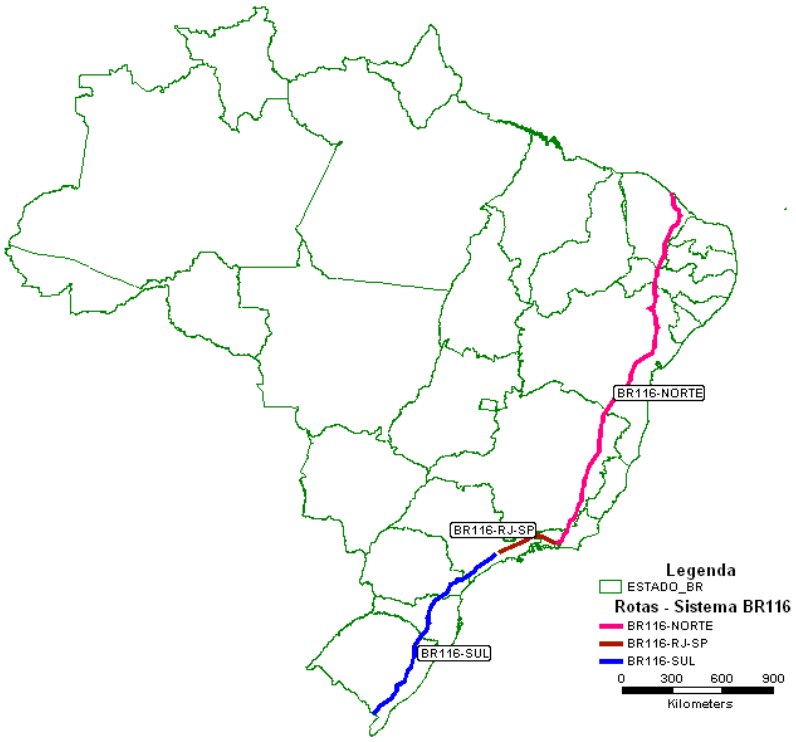


Figura 5.7 – Sistema de Rotas da BR116

A Rota *BR116-SP-RJ* criada tem como sistema de referência linear quilometragens com início (km 0) no Rio de Janeiro. Esse sistema é específico à aplicação e deve ser associado a um sistema oficial ou a demais sistemas de interesse, de modo que o usuário possa entrar com quilometragens correspondentes a esses sistemas e o aplicativo realizar as conversões. A Figura do ANEXO A mostra um exemplo de associação de sistemas de quilometragens.

- **Seleção dos pontos GPS e determinação de atributos de rota**

A partir do sistema de rota recém criado, realizou-se *buffer* de 500 metros de distância em relação à rota, distância essa que visualmente cobre praticamente todos os pontos que se supõem pertencerem à rota. Em seguida, foi feita seleção dos pontos das Bases GPS que correspondeu a um filtro inicial para determinação dos pontos da rota. A Figura 5.8 ilustra o processo de seleção dos pontos por *buffer* realizado sobre a Base GPS Geral.

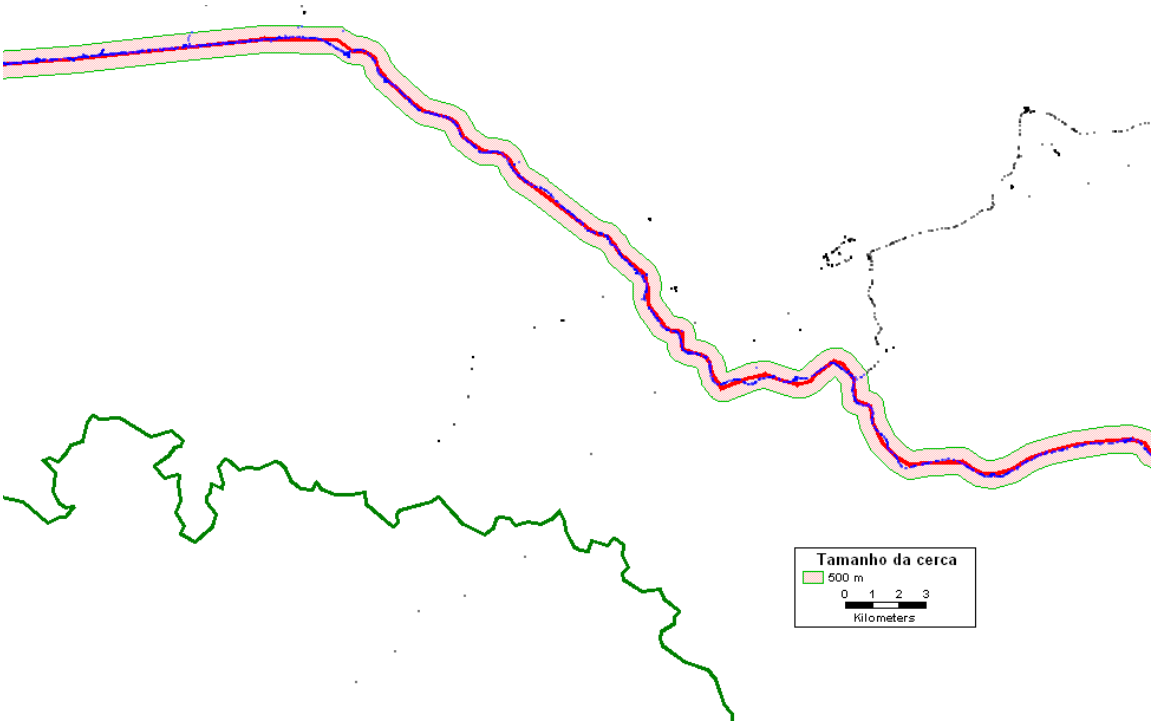


Figura 5.8 – Seleção dos pontos da rota – *buffer* 500m

A Figura 5.9 refere-se aos pontos após a seleção que correspondem às viagens ao longo da BR116 na ligação Rio de Janeiro – São Paulo.

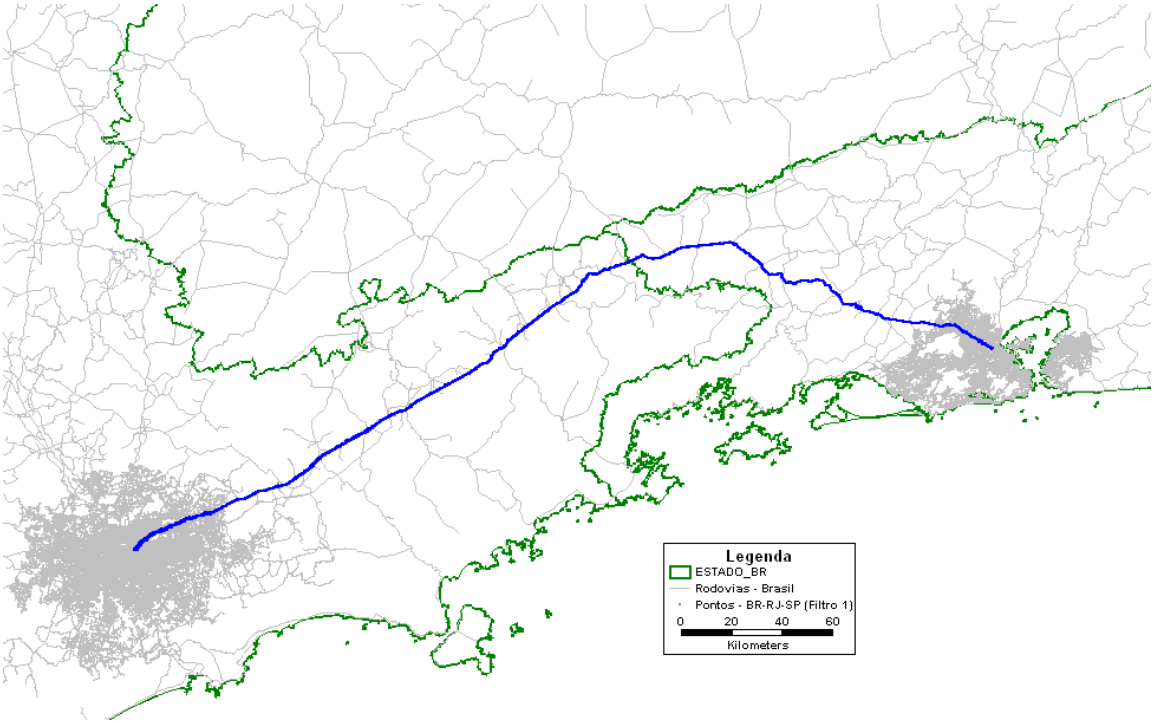


Figura 5.9 – Pontos GPS – BR116-SP-RJ

Após aplicação desse filtro, verificou-se que os pontos pertencentes à rota BR116-SP-RJ da Base Geral GPS correspondem a 129.397 registros, 7% do total de pontos.

- **SRL – Determinação da quilometragem de cada ponto no sistema de referência linear da rota e da distância à rota**

Por meio de funções em GIS, determinou-se para os pontos das Bases GPS os valores de quilometragens (km) em relação à rota BR116-RJ-SP dentro do sistema de referência linear (SRL) (processo E). Outra operação realizada foi atribuição da distância ortogonal dos pontos à rota, informação importante para determinação dos *pontos fora da cerca*. A Tabela 5.2 mostra um exemplo de parte do resultado desse processo.

Tabela 5.2 - Atributos da Tabela Dados - GPS

ID	LONGITUDE	LATITUDE	CD	LINK_ID	LINK_ID_ROTA	[Dist-rede]	Rota	km
723625	-45514123	-23007113	664582730.00000	9283991	22603	0.0121	BR-RJ-SP	270.56174
723633	-45513913	-23007188	665255078.00000	9283991	22603	0.0054	BR-RJ-SP	270.54654
723641	-45513912	-23007085	665140845.00000	9283991	22603	0.0048	BR-RJ-SP	270.54111
723649	-45513777	-23006903	664747077.00000	9283991	22603	0.0161	BR-RJ-SP	270.51944
723657	-45513142	-23006792	665043790.00000	9283991	22603	0.0034	BR-RJ-SP	270.45618
723665	-45512580	-23006493	663562330.00000	9283991	22603	0.0009	BR-RJ-SP	270.38980
723673	-45512040	-23006220	663134558.00000	9283991	22603	0.0001	BR-RJ-SP	270.32669
723681	-45511972	-23006215	664088844.00000	9283991	22603	0.0026	BR-RJ-SP	270.32031
723689	-45511808	-23005963	665357068.00000	9283991	22603	0.0143	BR-RJ-SP	270.29242
723697	-45511572	-23005980	663875516.00000	9283991	22603	0.0013	BR-RJ-SP	270.27188
723705	-45511603	-23005910	665017153.00000	9283991	22603	0.0097	BR-RJ-SP	270.27109
723713	-45510780	-23005595	665297269.00000	9283991	22603	0.0013	BR-RJ-SP	270.18018
723721	-45510625	-23005530	664395066.00000	9283991	22603	0.0002	BR-RJ-SP	270.16278
723729	-45510487	-23005467	664334778.00000	9283991	22603	0.0002	BR-RJ-SP	270.14700
723737	-45510607	-23005338	665002234.00000	9283991	22603	0.0182	BR-RJ-SP	270.15118
723745	-45510283	-23005345	663980197.00000	9283991	22603	0.0020	BR-RJ-SP	270.12222
723753	-45510103	-23005100	665515448.00000	9283991	22603	0.0175	BR-RJ-SP	270.09317
723761	-45509648	-23005028	663658235.00000	9283991	22603	0.0028	BR-RJ-SP	270.04822
723769	-45509448	-23004918	663612520.00000	9283991	22603	0.0040	BR-RJ-SP	270.02444
723777	-45509117	-23004583	664056029.00000	9283991	22603	0.0211	BR-RJ-SP	269.97708
723785	-45508612	-23004423	664574064.00000	9283991	22603	0.0126	BR-RJ-SP	269.92297
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

- **Segmentação**

Em seguida, foi feita divisão da rota em segmentos homogêneos para posterior agregação da informação pontual. Analisando a base dos pontos filtrados para geração dos padrões da rota correspondente a BR116-SP-RJ, verificou-se que o período entre coletas é em geral de 3 em 3 minutos, mas com presença de vários casos de período em torno de 5 minutos.

Assim, seguindo a regra apresentada de determinação do tamanho do segmento, foi realizado filtro para se trabalhar apenas com os pontos de período de coleta menores ou iguais a 5 minutos e adotou-se tamanho de segmento igual a 10 km para garantir a ocorrência de ao menos 2 pontos por segmento. À base de pontos GPS foi incluído um campo denominado SEG com o código do segmento de cada ponto calculado a partir dos valores de km.

5.4.2 Passadas

- **Sequência cronológica e sentido do movimento**

São determinados sequência e sentido do movimento para cada ponto das bases GPS (processo H). A seqüência representa o número de ordem cronológica de cada ponto e foi determinada em Access, pela ordenação crescente dos campos VEÍCULO e DATA/HORA e inclusão de relativo à sequência SEQ com auto-numeração.

Como o progresso da viagem dos veículos se dá por uma variação espacial e temporal, o sentido do movimento deve levar em consideração as quilometragens de ocorrência de cada ponto em uma sequência cronológica. Então, houve a inclusão de dois campos auxiliares na base de pontos da rota BR-116-RJ-SP, para subsidiar o cálculo do sentido: KM_PROX_PONTO (quilometragem do ponto coletado em seguida ao ponto) e DATA/HORA_PROX_PONTO (data/hora do ponto coletado em seguida ao ponto), os quais foram possíveis obter a partir do campo SEQ calculado.

Assim, determinou-se o sentido do movimento, adotando sentido A sempre que KM < KM_PROX_PONTO, ou seja, referente às variações de quilometragens positivas (Rio de Janeiro – São Paulo), e sentido B sempre que KM > KM_PROX_PONTO que correspondem aos pontos de variação de quilometragem negativa (São Paulo – Rio de Janeiro).

O comportamento de cada segmento de rodovia foi modelado para cada sentido.

- **Identificação de descontinuidades (início/fim das passadas) e retirada dos pontos inválidos**

Foram em seguida determinados os pontos inválidos correspondentes a mudanças de sentido, pontos fora da cerca e paradas (processo I). Esses pontos definem pontos de início/fim de passada e são usados na geração da Base respectiva.

Foram então inseridos mais 3 campos de atributos:

- ESTADO_FORA_DA_CERCA
- ESTADO_PARADA
- ESTADO_RETORNO

Esses campos assumem 2 tipos de valores: *ok*, para o caso do ponto ser válido ou *início/fim_passada* quando houver a ocorrência da descontinuidade. Para determinação desses valores foram usados os algoritmos descritos no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS.**

Para determinação dos pontos *fora da cerca*, foi necessário determinar a *cerca virtual* correspondente ao valor de distância à rota a partir do qual um ponto GPS não é considerado pertencente à rota. Como discutido no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**, esse valor varia de acordo com diversos fatores, sendo proposto modelo para sua estimação. Para o presente caso, aplicou-se o modelo com os seguintes valores de entrada:

$$\mathrm{E}_{GPS} \approx 15 metros$$
$$\mathrm{E}_{rede_rodoviária} \approx 250 metros$$
$$núm_faixas \cong 4$$
$$L_{faixa} \cong 3{,}5 metros$$
$$L_{canteiro} \cong 40 metros$$

Onde:

E_{GPS} = erro associado à coleta de posições GPS;

$E_{rede_rodoviária}$ = erro da rede rodoviária em relação aos pontos GPS;

num_faixas = número médio de faixas viárias, incluindo acostamento;

L_{faixa} = largura média de faixa da rodovia;

$L_{canteiro}$ = largura média do canteiro central.

E obteve-se como cerca virtual um valor de aproximadamente 299 metros que foi arredondado para 300 metros, conforme cálculo a seguir:

$$\text{Dist_Cerca_virtual} \approx 15 + 250 + 4 * 3{,}5 + \frac{40}{2} \approx 299\text{metros}$$

Onde, a **Dist_Cerca_virtual** corresponde à distância ortogonal média em relação à rota a partir da qual os pontos não são considerados pertencentes à rota.

Após definição de seu valor, determinou-se para cada ponto GPS se o mesmo encontrava-se *fora da cerca*. Para tanto, verificou-se o valor do campo DIST_REDE, que contém a informação da distância do ponto em relação à rota, e quando ele fosse superior a 300 metros, adotou-se o atributo *início/fim_passada* para o campo ESTADO_FORA DA_CERCA, conforme a regra:

Para identificação das paradas, foi aplicado o algoritmo desenvolvido em *Visual Basic for Applications* (VBA), descrito no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**, que percorre a base e retorna para cada ponto se ele corresponde ou não a uma parada. Adotou-se como valor do tempo estacionado 30 minutos e oscilação máxima entre os pontos da parada 2,5 km. Se a variação de quilometragem acumulada durante 30 minutos a partir da data/hora de coleta do ponto fosse menor do que 2,5 km, então o campo ESTADO_PARADA do ponto receberia o atributo *início/fim_passada*, caso contrário, ele teria o valor *ok*.

Para identificação das mudanças de sentido, foi usado Access para aplicar algoritmo específico, conforme explicado no **Item 3.4 - DEFINIÇÃO DE PASSADAS**. Ele compara o sentido do ponto atual e do ponto consecutivo. Cada vez que o sentido do ponto seguinte fosse diferente do sentido do movimento do ponto, correspondia a uma mudança de sentido e o valor *início/*fim_passada foi atribuído ao campo ESTADO_RETORNO.

- **Geração de Base de Dados de Passadas**

Para geração das passadas (processo J), foi necessário criar um campo auxiliar denominado INÍCIO/FIM_PASSADA. Sempre que houvesse qualquer descontinuidade identificada por pelo menos um dos campos de ESTADO anteriores, o campo INÍCIO/FIM_PASSADA receberia o valor de início/fim. Após esse procedimento, foi possível gerar um banco de dados de passadas delimitadas pelos pontos de quebra (*início/fim_ passada*) e atribuir um código correspondente a passada de cada ponto GPS.

5.4.3 Agregações e estatísticas

Foi então feita a agregação nos segmentos homogêneos da rota (processo K), de tamanho de 10 km definido na etapa de segmentação.

Antes da agregação, foram retirados da amostra os pontos referentes à viagem escolhida para a simulação da base GPS. Como ela foi simulada usando como referência os padrões resultantes da agregação, se não tivesse havido essa retirada, as respostas tenderiam a apresentar vícios.

Para executar a agregação, aplicou-se algoritmo que percorreu as Bases GPS por passada em um determinado sentido e a cada mudança de segmento, para uma mesma passada, determinou-se o ponto mais próximo da entrada e o ponto mais próximo da saída de cada segmento, bem como seus tempos acumulados correspondentes. Por interpolação, calcularam-se os valores de tempo de percurso de cada segmento por passada. Já as velocidades foram obtidas dividindo-se o comprimento do segmento (10km) pelo tempo de percurso em horas. Exceções de quebras da passada no meio do segmento foram tratadas.

O resultado foi uma tabela de segmentos com valores de tempo de viagem e velocidade de cada passada. Uma parte dela está mostrada na Tabela 5.3 e

correspondem aos dois primeiros segmentos de rota.

Tabela 5.3 – Resultados do algoritmo de agregação

Veículo	Segmento	Passada	km do pto mais prox saída	km do pto mais prox entrada	T_acum do pto mais prox saída (min)	T_acum do pto mais próx entrada (min)	Tempo de percurso do segmento (min)	Veloc. no segmento (km/h)
34867	0	315	8,56	0,09	6,00	0,00	7,08	84,75
36900	0	381	10,48	6,70	3,00	0,00	7,93	75,65
37068	0	404	9,56	1,05	6,00	0,00	7,05	85,10
37905	0	445	10,60	0,29	9,00	0,00	8,73	68,76
42349	0	731	11,12	0,00	9,00	0,00	8,09	74,13
47021	0	925	10,90	0,49	12,00	0,00	11,52	52,09
49023	0	1086	8,64	0,00	12,00	0,00	13,89	43,19
49126	0	1129	9,33	0,00	9,00	0,00	9,65	62,18
49616	0	1223	8,98	0,49	9,00	0,00	10,60	56,62
50121	0	1296	8,38	0,00	6,00	0,00	7,16	83,77
50133	0	1307	12,01	0,00	9,00	0,00	7,49	80,06
50161	0	1311	8,71	2,11	6,00	0,00	9,09	65,99
58974	0	1458	9,88	1,28	6,00	0,00	6,98	85,99
61569	0	1618	8,34	0,76	6,00	0,00	7,91	75,84
62838	0	1726	10,49	0,00	9,00	0,00	8,58	69,97
63597	0	1802	8,68	1,25	6,00	0,00	8,07	74,31
71076	0	1909	7,91	0,11	6,00	0,00	7,69	78,02
73173	0	2016	10,86	0,00	9,00	0,00	8,28	72,43
40118	0	2059	8,64	2,42	6,00	0,00	9,65	62,20
40118	0	2076	10,63	3,67	6,00	0,00	8,62	69,60
40118	0	2095	9,61	1,68	6,00	0,00	7,57	79,30
68918	0	2102	9,36	5,10	2,98	0,00	7,00	85,68
68918	0	2113	10,96	6,95	3,00	0,00	7,48	80,20
68918	0	2117	10,53	1,95	6,73	0,00	7,85	76,46
68918	0	2131	9,95	6,56	3,00	0,00	8,85	67,80
68918	0	2133	9,11	0,97	6,00	0,00	7,37	81,40
68918	0	2135	8,97	0,22	6,13	0,00	7,01	85,60
68918	0	2200	9,16	0,98	6,00	0,00	7,33	81,80
68918	0	2203	9,36	3,34	6,00	0,00	9,97	60,20

Veículo	Segmento	Passada	km do pto mais prox saída	km do pto mais prox entrada	T_acum do pto mais prox saída (min)	T_acum do pto mais próx entrada (min)	Tempo de percurso do segmento (min)	Veloc. no segmento (km/h)
68918	0	2210	9,85	0,97	10,70	0,00	12,05	49,79
34867	1	315	21,49	8,56	15,00	6,00	6,96	86,17
36900	1	381	20,16	10,48	12,00	3,00	9,30	64,53
37068	1	404	17,51	9,56	11,80	6,00	7,29	82,28
37068	1	406	19,97	17,51	2,98	0,00	12,12	49,49
37905	1	445	21,16	10,60	17,98	9,00	8,51	70,54
42349	1	731	18,89	11,12	15,00	9,00	7,72	77,71
42349	1	733	20,88	19,06	10,92	0,00	60,03	9,99
47021	1	925	12,90	10,90	15,00	12,00	15,04	39,88
49023	1	1086	20,50	8,64	21,00	12,00	7,59	79,05
49126	1	1129	17,53	9,33	18,40	9,00	11,46	52,37
49126	1	1130	19,67	17,53	2,98	0,00	13,99	42,90

Com a agregação, houve então a transformação da informação pontual em valores referentes aos segmentos. Foi realizada análise dos resultados e definidos os pontos fora da distribuição que deveriam ser retirados para não distorcerem os padrões gerados. As premissas usadas foram as seguintes:

- LIMITE DE VELOCIDADE

Foram retirados da distribuição valores resultantes de velocidades maiores do que o limite imposto para a rodovia em análise, correspondentes a dados absurdos ou a casos de veículos muito rápidos, mas com velocidades reais. Isso se fez necessário para que os padrões ficassem coerentes com essa limitação da legislação. Nesse trabalho usou-se como limite o valor de 120 km/h.

- APENAS UM PONTO NO SEGMENTO, MAIS PRÓXIMO DA ENTRADA E DA SAÍDA

Quando apenas um ponto da passada fosse associado ao segmento e ele fosse ao mesmo tempo o ponto mais próximo da entrada e da saída do segmento, não seria possível realizar sua agregação. Portanto, houve retirada dos resultados correspondentes a essas ocorrências.

- **Verificação do caso de monitoramento**

A partir do conhecimento da vigem, veículo e rota a serem monitorados, e da agregação das informações pontuais em segmentos, os padrões estão praticamente determinados e servirão de referência para o monitoramento. Entretanto, como descrito no **Item 3.6 - ASPECTOS ESTATÍSTICOS**, os dados GPS a serem considerados na agregação dependem do caso de monitoramento, o qual foi necessário identificar para o presente problema (processo L).

A primeira tentativa foi então processar a agregação para o **Caso 1** e avaliar se a quantidade amostral seria suficiente para representatividade dos padrões. O **Caso 1** corresponde à geração de padrões para o mesmo veículo e rota a serem monitorados.

Assim, depois de retirada de ocorrências inválidas conforme premissas descritas no item anterior, a foi gerada agregação correspondente apenas às passadas do veículo de simulação (sem as passadas que se referem à viagem a ser simulada), por sentido de movimento. Os dados resultantes correspondentes às quantidades de passadas por segmentos, que representam o tamanho de amostra de cada segmento, estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Quantidade de Passadas por segmento e sentido – Caso 1 (veículo 68.918 sem as passadas da viagem a ser simulada)

Segmento	Número de passadas – amostra		Segmento	Número de passadas - amostra	
	Sentido A	Sentido B		Sentido A	Sentido B
0	13	9	20	8	9
1	15	15	21	7	8
2	12	27	22	7	8
3	10	10	23	6	5
4	9	12	24	10	8
5	7	9	25	9	8
6	8	13	26	8	8
7	9	8	27	7	8
8	8	9	28	9	13
9	8	8	29	6	9
10	8	8	30	6	8
11	8	8	31	6	8
12	8	8	32	6	8
13	9	9	33	6	8
14	8	8	34	6	8
15	11	11	35	7	7
16	8	8	36	6	9
17	10	13	37	6	10
18	7	8	38	6	8
19	8	14	39	7	9

Pela análise da tabela, verificou-se que em nenhum segmento a quantidade de passadas foi superior a 30, tamanho mínimo ideal de amostra adotado nesse trabalho, conforme explicado no **Item 3.6 - ASPECTOS ESTATÍSTICOS**. Então, concluiu-se que o caso de monitoramento para geração dos padrões dessa viagem seria o **Caso 2** ou o **Caso 3**.

Cabe lembrar que é possível aprofundar o método de determinação do tamanho mínimo da amostra, pelo emprego de modelos estatísticos que podem resultar em valores diferentes para cada segmento. Dependendo dos resultados gerados,

pode haver uma mudança do Caso de monitoramento ao qual a viagem se enquadra.

A mesma tabela foi gerada para o conjunto de passadas correspondentes a todos os pontos GPS de viagens localizados ao longo da BR116, de todos os veículos da base, cujos valores de número de passadas por segmento foram maiores que 30 em quase todos eles. Esses dados estão mostrados na Tabela 5.5 e correspondem ao Caso 2 de monitoramento.

Tabela 5.5 - Quantidade de Passadas por segmento e sentido – Caso 2 (todos os veículos sem as passadas da vagem a ser simulada)

Segmento	Número de passadas		Segmento	Número de passadas	
	Sentido A	Sentido B		Sentido A	Sentido B
0	32	198	20	62	108
1	37	157	21	75	86
2	33	143	22	78	89
3	25	114	23	58	96
4	23	86	24	72	111
5	20	103	25	73	89
6	30	115	26	61	93
7	32	111	27	63	83
8	28	105	28	87	82
9	36	111	29	89	75
10	48	101	30	89	82
11	43	93	31	87	76
12	54	86	32	90	83
13	66	92	33	75	81
14	58	99	34	85	67
15	76	79	35	88	60
16	63	60	36	111	54
17	80	87	37	136	74
18	61	95	38	128	61
19	66	84	39	65	43

Nota-se que os tamanhos de amostra são menores para os segmentos iniciais (próximo ao Rio de Janeiro) no sentido A (Rio - São Paulo), onde alguns

segmentos destacados na tabela não atingiram o valor mínimo de 30. No entanto, como isso ocorre em poucos segmentos, as análises foram continuadas para o Caso 2 de monitoramento.

Lembrando que os processos propostos compreendem uma retroalimentação das Bases GPS, com a continuidade dos monitoramentos e aumento da quantidade de registros da Base GPS de viagens na mesma rota, há tendência de aumento dos tamanhos de amostra e migração do Caso 2 para o Caso 1, melhorando a representatividade e precisão dos resultados.

- **Retirada de Outliers e Geração de Tabelas de Parâmetros dos Segmentos**

A partir da aplicação de Diagramas de caixa, outliers (pontos fora da distribuição) foram identificados para posterior verificação e aplicação de regra para determinar quais pontos devem ser retirados da amostra. A Figura 5.10 mostra Gráfico de Diagramas de Caixa do tempo de percurso por segmento no sentido B.

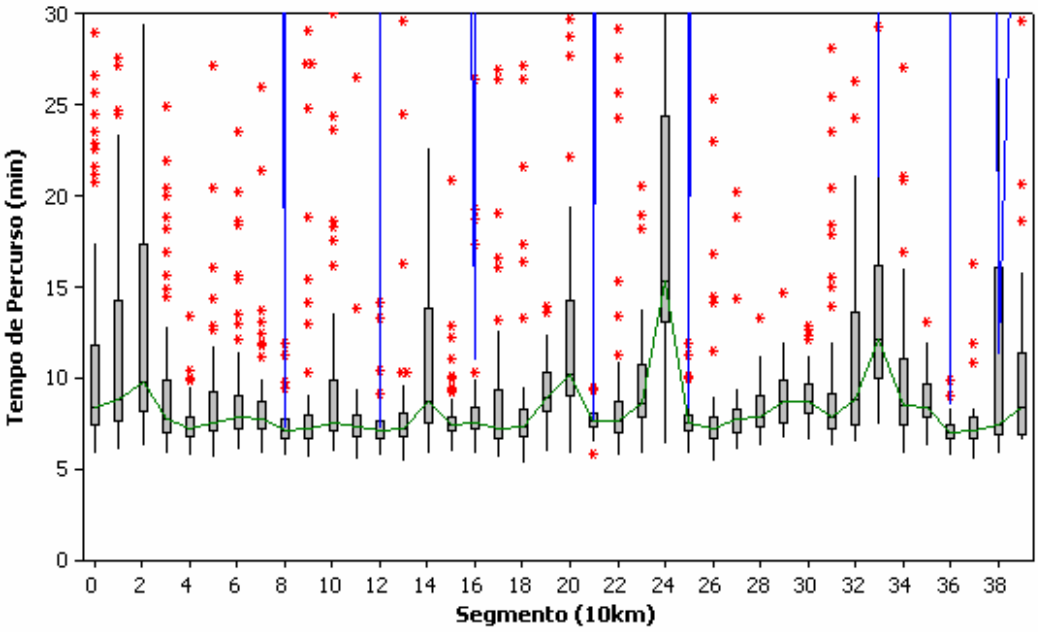


Figura 5.10 – Diagramas de Caixa do tempo de percurso por segmento – sentido B

Já os desvios padrão dos tempos de percurso e das velocidades medem o quão uniforme é o segmento em termos desses parâmetros. A Figura 5.11 representa o gráfico dos Intervalos de Confiança dos tempos de percurso por segmento no sentido B que é um parâmetro que, de maneira similar ao desvio padrão, mede a tendência central e variabilidade dos resultados.

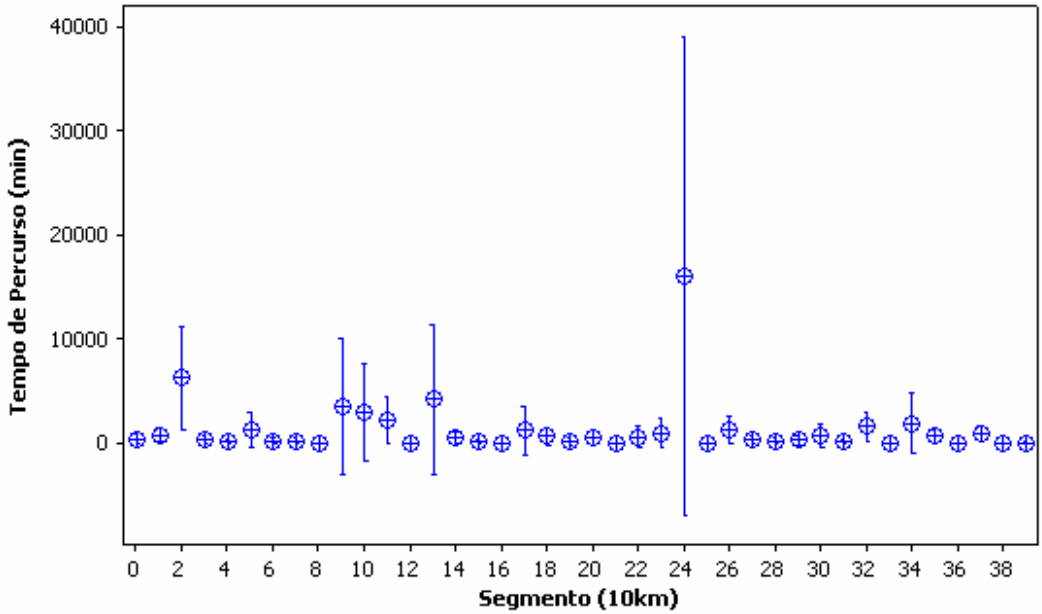


Figura 5.11 - Gráfico dos Intervalos de Confiança dos tempos de percurso por segmento – sentido B – IC de 95% para a média

Esse gráfico apresenta para cada segmento da rota as respectivas médias como símbolo circular e os intervalos como barra. Ele é útil para comparar grupos. Já a Figura 5.12 mostra o gráfico de Intervalos de Confiança da velocidade por segmento no sentido B.

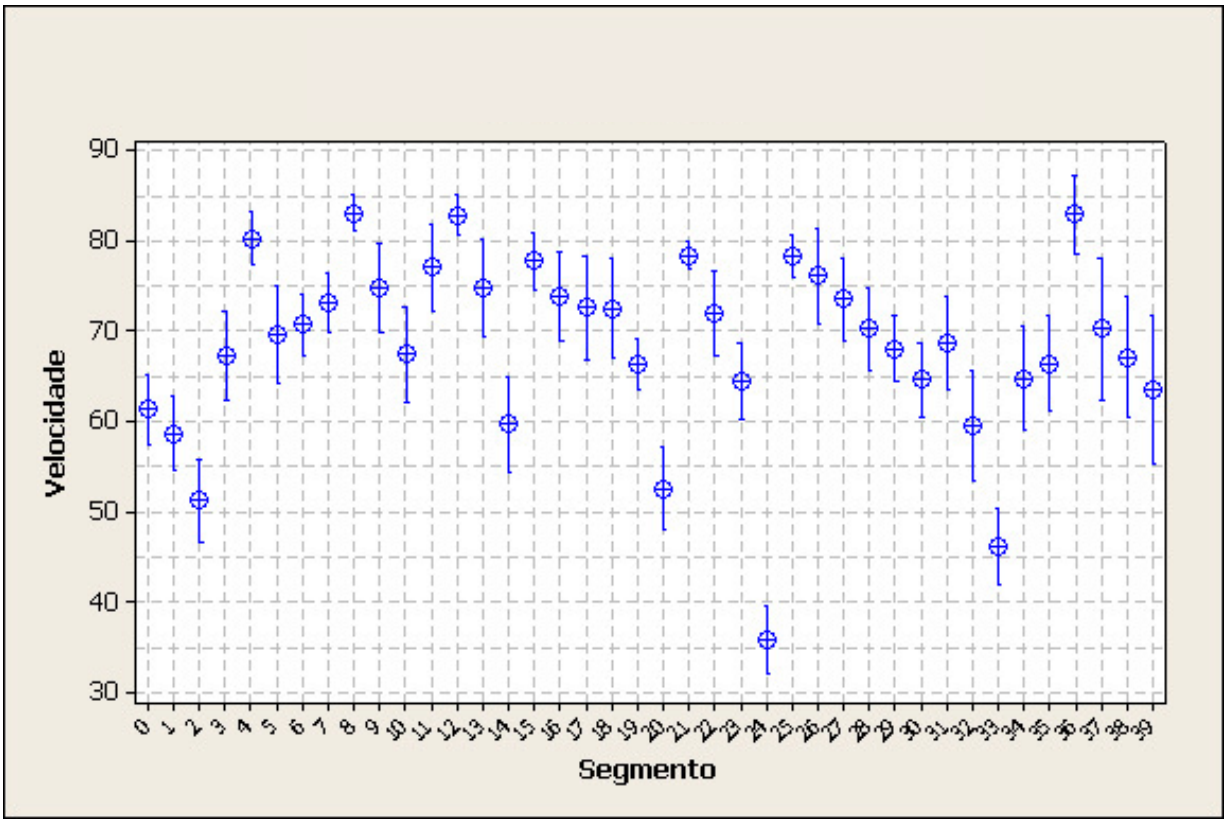


Figura 5.12 - Gráfico dos Intervalos de Confiança das velocidades por segmento – sentido B

Comparando-se a Figura 5.11 e a Figura 5.12, nota-se que a distribuição de tempo por segmento apresenta variações proporcionalmente maiores de médias e intervalos do que a distribuição de velocidade. Isso porque o cálculo da velocidade é uma divisão de constante (tamanho do segmento) pelo tempo de percurso, o que suaviza esse efeito de variação, tornando seu comportamento mais uniforme em termos de média e desvio padrão.

Ao se optar por usar a mediana no lugar da média como parâmetro do valor esperado dos tempos de viagem no segmento, o impacto dessa diferença é praticamente eliminado, já que a mediana é pouco afetada, conforme discutido no **Item 3.6 - ASPECTOS ESTATÍSTICOS**.

No entanto, haverá problemas em se adotar o desvio padrão do tempo de percurso como parâmetro para cálculo da tolerância a ser usada no

monitoramento, devido a valores muito elevados e discrepâncias entre os segmentos. Têm-se duas alternativas para solução desse problema. Uma delas é adotar os desvios padrão das velocidades nos segmentos para cálculo da tolerância (parâmetro mais estável). Outra opção é retirar os *outliers* de tempos de percurso causadores dessas discrepâncias e adotar os desvios padrões dos tempos de percurso para cálculo da tolerância.

Apesar de se tratar de processo e custo adicionais, optou-se pela segunda opção, já que o parâmetro que se objetiva monitorar é diretamente o tempo de viagem. Assim, para retirada dos *outliers*, foram aplicadas as seguintes regras:

- RETIRADA DE *OUTLIERS*

Primeiramente, usou-se a definiram-se diagramas de caixa para identificar os candidatos a *outliers* que devem ser retirados da amostra. Tratam-se dos valores de tempo de percurso dos segmentos além dos limites superior e inferior (máximo e mínimo das barras do diagrama de caixas), conforme descrito no **Item 3.5.1- Tamanho da amostra e parâmetros**. Foram verificados que os valores mais absurdos são devido a problemas de representatividade da agregação da informação pontual.

Quando uma passada não percorre determinado segmento do início ao fim, por sua quebra ocorrer em algum ponto ao longo dele, nem sempre sua extrapolação, para gerar o valor de tempo de viagem no segmento, é válida. Esses casos ocorrem quando a passada contém um único segmento ou para o primeiro e último segmentos da passada.

Assim, deve-se identificar os *outliers* pela aplicação de diagramas de caixa e em seguida verificar as condições a seguir. Se elas se confirmarem, os pontos devem ser retirados da amostra:

A) Se uma passada só tiver um segmento;

B) Se a diferença de quilometragem entre o ponto mais próximo da saída do segmento e o ponto mais próximo da sua entrada for menor ou igual a 30% do tamanho do segmento, valor esse adotado por hipótese.

Com a aplicação desse procedimento, foram gerados gráficos de Intervalos de Confiança e Diagramas de Caixa do tempo de percurso por segmento, para a BR-116 no sentido B, mostrados nas Figura 5.13 e a Figura 5.14, respectivamente.

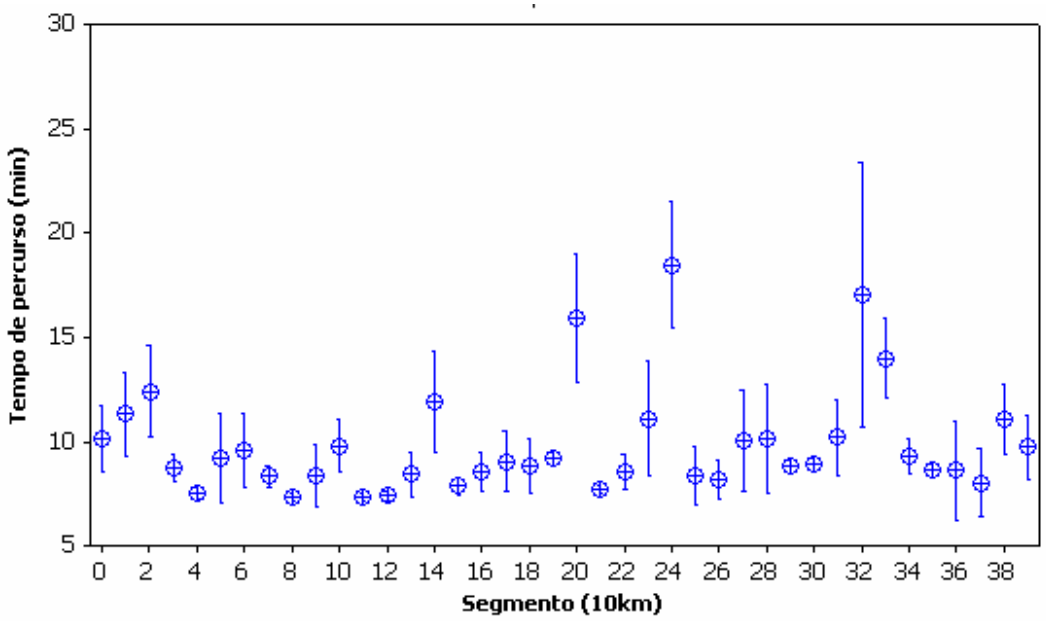


Figura 5.13 – Gráfico dos intervalos de confiança dos tempos de percurso nos segmentos - BR116 (sentido B) – IC de 95% para a média

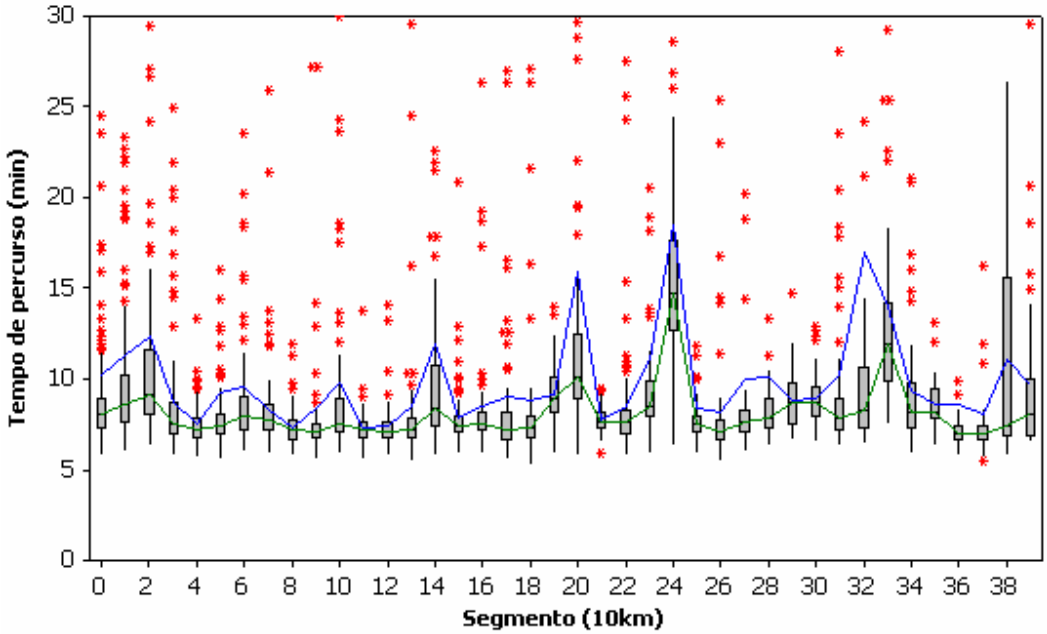


Figura 5.14 – Diagramas de Caixa dos tempos de percurso nos segmentos - BR116 (sentido B)

Nota-se na Figura 5.13 que os intervalos de tempo foram reduzidos a valores razoáveis os quais foram usados para cálculo da tolerância. Já a Figura 5.14 representa os Diagramas de Classe com a inclusão de linhas de conexão das médias e medianas, o que facilitou a análise do comportamento desses parâmetros.

Observa-se que a média dos tempos de percurso tende a ser maior do que a mediana e para as velocidades o comportamento é inverso. Quando a média e a mediana são próximas, isso significa que se trata de um segmento com dados simétricos, ou seja, não há valores extremamente altos ou baixos influindo no valor da média.

Quando a mediana é próxima da média como em patamares altos como no km 24, mesmo que o desvio padrão seja elevado, significa que tal segmento pertence a outro grupo e que não foram alguns valores altos que reduziram a média, e sim vários veículos, o que indica uma redução de velocidade.

Enfim, é possível representar em GIS os resultados das agregações, com técnicas de segmentação dinâmica ou em tabelas. A Figura 5.15 mostra um mapa temático dos valores esperados (mediana) de tempos de percurso de cada segmento da BR116, na ligação São Paulo – Rio de Janeiro, com indicações de algumas cidades de referência e dos trechos ainda com influência urbana.

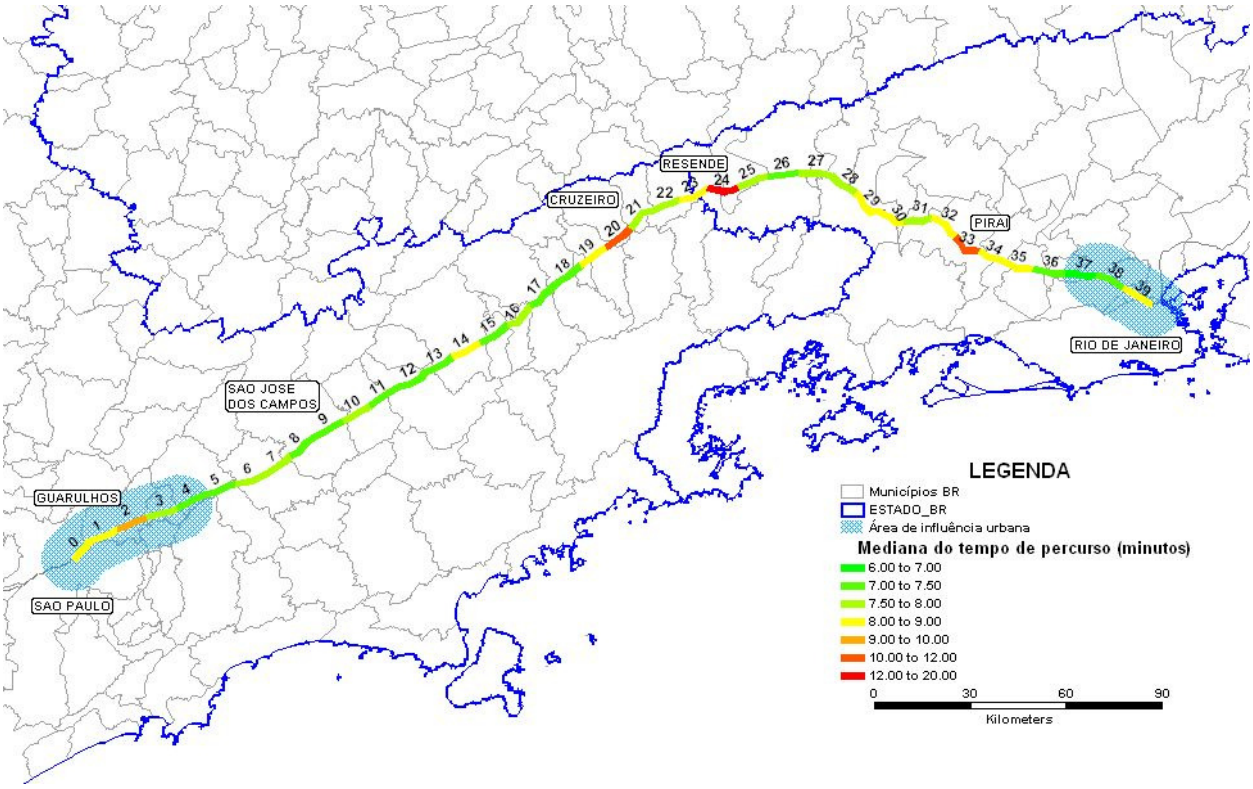


Figura 5.15 - Mapa Temático dos tempos de percurso por segmento ao longo da BR116 – sentido B

A Figura 5.16 representa um mapa temático de escala dos valores de desvio padrão a serem usados no cálculo da tolerância dos tempos de monitoramento.

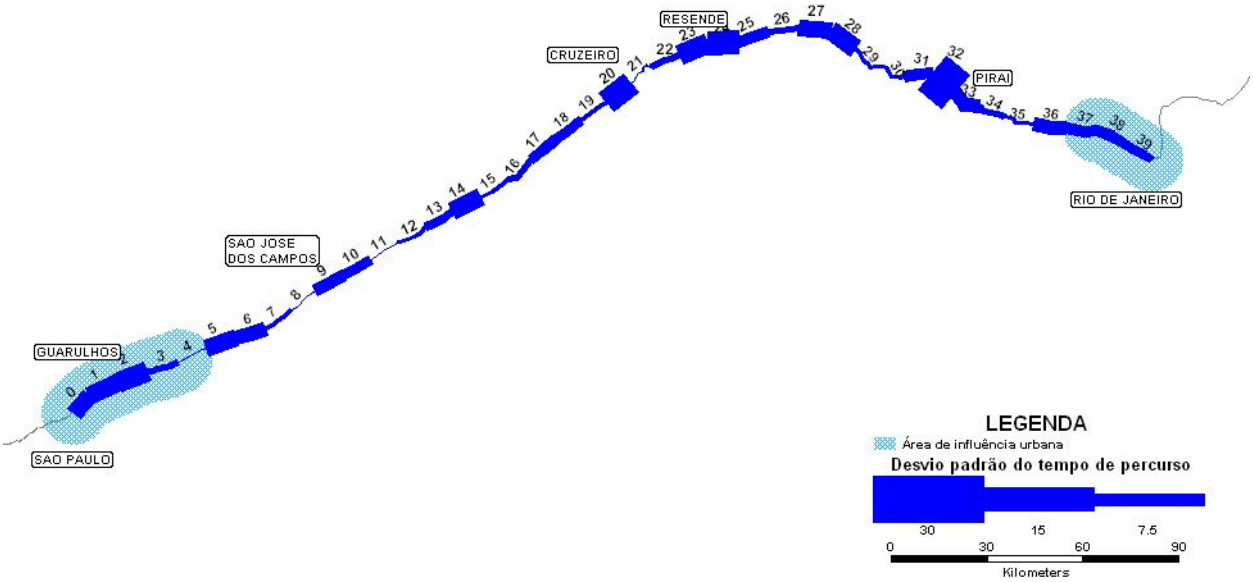


Figura 5.16 – Mapa Temático dos desvios padrão dos tempos de percurso por segmento ao longo da BR116 – sentido B

5.5 SIMULAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE UMA VIAGEM

Para simular o monitoramento de uma viagem, executou-se o processo apresentado no **Capítulo 4 -**

PROCESSO DE MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE VEÍCULOS, correspondente à Figura 4.2.

A partir da viagem escolhida para simulação, como a ser monitorada, montou-se grade de monitoramento (processo O). Ela contém os campos listados na Tabela 5.6, categorizados como atributos coletados, calculados e de estado.

Tabela 5.6 - Tabela dos Atributos dos pontos gerados dinamicamente a cada nova coleta de ponto GPS

Categoria	Atributo
Coletados	Latitude
	Longitude
	Hora
Calculados	Sequência
	Cronômetro
	Dist Rede
	km
	Seg
	Sentido
	Previsão tempo acum (minutos)
	Tolerância
	Desvio (minutos)
	Índice desvio
	Aderência
Estados	CERCA
	PARADA
	RETORNO
	PROGRESSO
Avisos	Avisos

Durante a simulação, que representa o monitoramento, para cada ponto coletado, foram determinados os atributos da Tabela 5.6. Sempre que houvesse uma mudança de estado, foram gerados avisos relacionados, cujos tipos estão apresentados na Tabela 5.7.

]

Tabela 5.7 – Tabela dos tipos de avisos associados aos estados do progresso do veículo

Estado	Aviso
CERCA	Saída da Rota
	Retorno à Rota
PARADA	Parada
	Em Progresso
SENTIDO	Mudança de Sentido
PROGRESSO	Conforme esperado
	Atrasado
	Adiantado

A Tabela 5.8 mostra os atributos dos pontos GPS da viagem resultantes da simulação, no sentido B (São Paulo – Rio de Janeiro), que apresentaram ocorrências de mudança de estado.

Tabela 5.8 - Tabela de monitoramento – mudanças de estado e avisos

Seq	TEMPO (min)	DIST REDE (km)	km	SENTI-DO	SEG	DESVIO	ADERE-NCIA	ESTADO CERCA	ESTADO PARADA	ESTADO RETORNO	ESTADO PROGRESSO	AVISOS	PARADA FREQUEN-TE?
3531	0,00	0,01	2,27	B	0			ok				INÍCIO DA VIAGEM	
3532	12,27	0,02	2,59	B	0	12,01	0,03	ok	ok	sem inf.	Atrasado	ATRASADO	
3563	105,25	0,10	67,03	B	6	53,52	0,50	ok	ok	ok	Conforme esperado	CONFORME ESPERADO	
3587	177,25	0,42	163,21	B	16	53,89		Saída da rota	ok	ok	Conforme esperado	SAIU DA ROTA	
3589	183,25	0,02	171,10	B	17	53,97	0,65	ok	ok	ok	Conforme esperado	RETORNOU À ROTA	
3591	188,58	0,32	177,41	B	17	54,77		Saída da rota	ok	ok	Conforme esperado	SAIU DA ROTA	
3615	251,52	0,03	181,36	B	18	114,85	0,48	ok	Parada	ok	Atrasado	RETORNOU À ROTA - PARADA - ATRASADO	
3616	254,52	0,02	185,63	B	18	114,74	0,48	ok	0,00	ok	Atrasado	EM PROGRESSO	
3621	269,52	0,00	203,62	B	20	113,93	0,51	ok	0,00	ok	Conforme esperado	CONFORME ESPERADO	
3671	423,03	0,93	397,48	B	39	103,20		Saída da rota	ok	ok	Conforme esperado	SAIU DA ROTA	
3673	433,80	0,13	342,02	B	34	156,05	0,61	ok	ok	ok	Conforme esperado	RETORNOU À ROTA	
3683	536,58	0,46	397,48	B	39	216,75		Saída da rota	ok	ok	Conforme esperado	SAIU DA ROTA	
3684	539,58	0,03	395,41	B	39	221,41	0,55	ok	ok	ok	Conforme esperado	RETORNOU À ROTA	
3702	573,13	0,18	395,40	B	39	254,97	0,51	ok	Parada	ok	Conforme esperado	PARADA	SIM
3716	589,40	0,17	395,40	B	39,00	271,23	0,50	ok	Parada	ok	Atrasado	ATRASADO	

Seq	TEMPO (min)	DIST REDE (km)	km	SENTI-DO	SEG	DESVIO	ADERE-NCIA	ESTADO CERCA	ESTADO PARADA	ESTADO RETORNO	ESTADO PROGRESSO	AVISOS	PARADA FREQUEN-TE?
3793	766,38	0,33	397,48	B	39	446,55		Saída da rota	Parada	ok	Atrasado	SAIU DA ROTA	
3794	803,88	0,03	0,00	A	0	484,05	0,36	ok	0,00	Mudança de sentido	Atrasado	RETORNOU À ROTA - MUDANÇA DE SENTIDO	
3795	804,47	0,01	0,53	A	0	484,21	0,36	ok	0,00	ok	Atrasado	EM PROGRESSO	
3811	849,48	0,51	0,00	A	0	529,65		Saída da rota	ok	ok	Atrasado	SAIU DA ROTA	
3812	864,48	0,30	60,42	A	6	495,99	0,37	ok	ok	ok	Atrasado	RETORNOU À ROTA	
3830	911,52	0,11	60,61	A	6	542,87	0,35	ok	Parada	ok	Atrasado	PARADA	NÃO
3843	940,73	0,15	69,91	A	6	564,45	0,34	ok	0,00	ok	Atrasado	EM PROGRESSO	
3881	1049,53	0,06	134,30	A	13	618,31	0,34	ok	Parada	ok	Atrasado	PARADA	NÃO
3912	1115,12	0,07	140,38	A	14	678,50	0,32	ok	0,00	ok	Atrasado	EM PROGRESSO	
3950	1220,95	0,40	233,40	A	23	707,43		Saída da rota	ok	ok	Atrasado	SAIU DA ROTA	
3951	1223,95	0,03	236,94	A	23	707,29	0,36	ok	ok	ok	Atrasado	RETORNOU À ROTA	
3982	1310,52	0,06	287,47	A	28	754,13	0,35	ok	Parada	ok	Atrasado	PARADA	SIM
4051	1481,12	0,09	294,94	A	29	919,20	0,31	ok	0,00	ok	Atrasado	EM PROGRESSO	
4063	1517,10	0,45	334,91	A	33	924,13		Saída da rota	ok	ok	Atrasado	SAIU DA ROTA	
4064	3484,28	0,06	397,40	A	39	2833,71	0,14	ok	ok	ok	Atrasado	RETORNOU À ROTA - FIM DA VIAGEM	

Já a Figura 5.17 apresenta um mapeamento desses pontos GPS da viagem que apresentaram alguma mudança de estado na simulação, no sentido B (São Paulo – Rio de Janeiro)

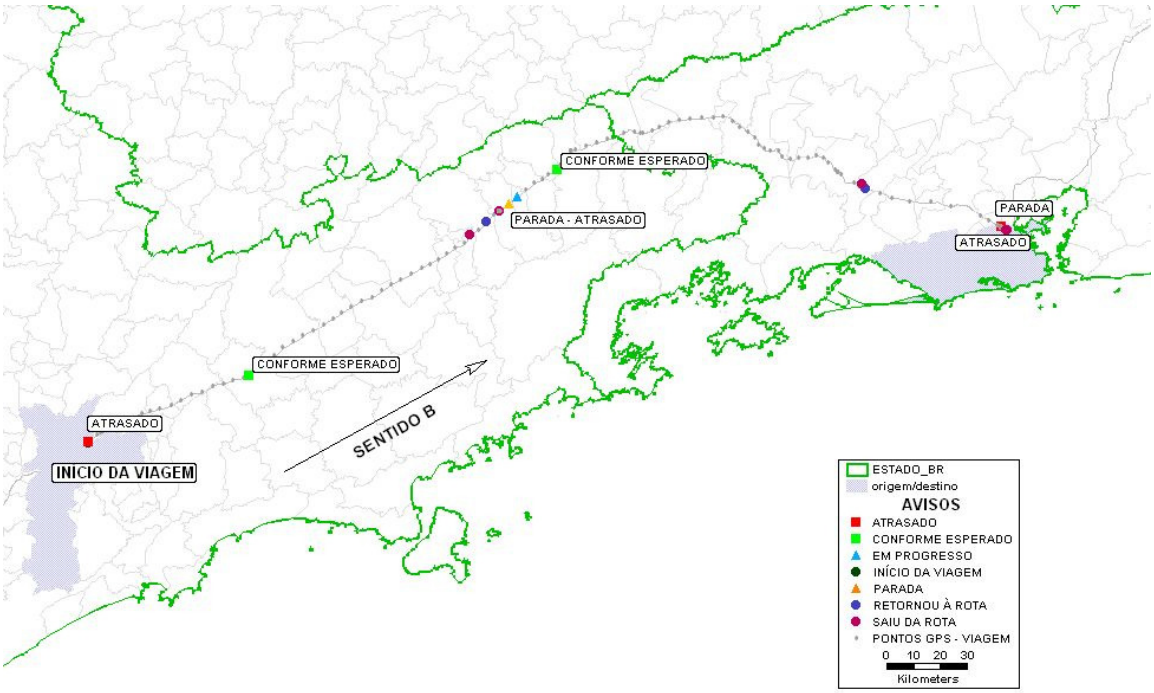


Figura 5.17 – Mapa de Avisos do Monitoramento da viagem – sentido B (São Paulo – Rio de Janeiro)

Nota-se que, em muitos pontos no decorrer da viagem, houve rápidas saídas e retornos à rota. No entanto, pela análise global da viagem, observa-se que tais saídas ocorreram devido a pontos com maiores erros de posição GPS em relação à rede vetorial, e não por conta de uma alteração de rota da viagem. Para evitar excessivos avisos de saída de rota, é possível calibrar a cerca virtual para valores maiores. No exemplo, adotando-se 400 metros de cerca virtual em vez de 300 metros, a quantidade de ocorrências de falsas “saída da rota” é reduzida.

É possível ainda melhorar o ajuste da rede em relação aos pontos GPS, conforme explicado no **Item 3.3.2 - Rede Rodoviária** e trabalhar com valores de cerca menores.

Já no Sentido A (Rio de Janeiro – São Paulo), a partir do ponto de Seq. = 4.063, ocorre uma verdadeira saída de rota por motivo de mudança de rodovia, verificada pelo aumento constante do campo “DIST_ROTA”. Nesse caso, o veículo pegou a rodovia D. Pedro no sentido de Sumaré, conforme se observa na Figura 5.18.

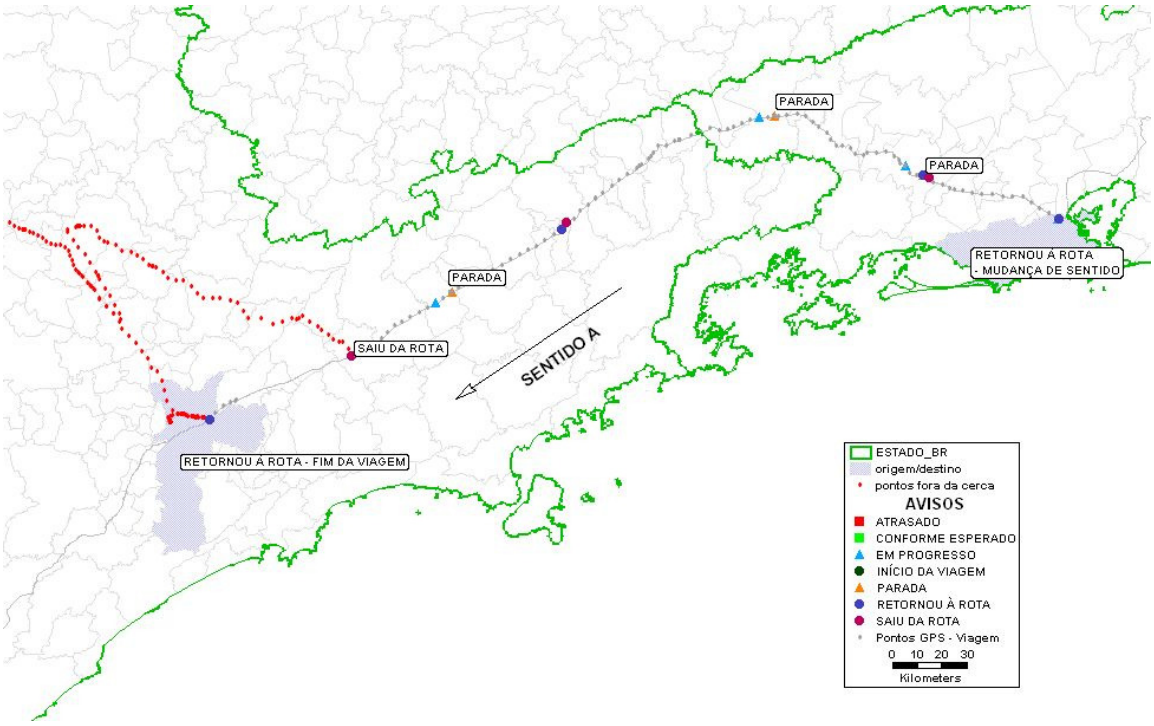


Figura 5.18 – Mapa de Avisos do Monitoramento da viagem – sentido A (Rio de Janeiro- São Paulo)

Outra constatação importante é que o veículo começou a viagem com um atraso logo no segundo ponto coletado Seq.=3.532, que foi recuperado no decorrer da viagem. No entanto, a partir do ponto Seq.=3.716, houve atraso não mais recuperado. Isso ocorreu, pois na definição do esperado em termos tempos de viagem, não estão incluídos os tempos de parada, de modo que quando ocorrem paradas reais elas naturalmente provocaram atraso. Como alternativa, é possível que o usuário informe os tempos de parada previstos, que podem ser incorporados aos tempos previstos de viagem, conforme explicado no **Item 5.4 - SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE PADRÕES DE VIAGEM.**

Além disso, o sistema permite ao usuário “zerar” atrasos, a cada novo ponto levantado, o que pode ser solicitado a qualquer momento pelo usuário. A ação é então aplicada para o ponto de coletada seguinte ao acionamento da opção pelo usuário. Na presente simulação, o usuário poderia querer zerar atrasos dos pontos a partir da Seq.=3.716, para não acumular os atrasos anteriores nos posteriores ao ponto “zerado”.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs método que abre horizonte para novas aplicações mais eficazes de monitoramento do progresso de viagens de veículo de carga em sistemas AVL.

Modelos de dados e dois processos descritos a seguir foram desenvolvidos, além do Processo geral que os engloba:

- **Processo de geração de padrões de viagens**: em que são gerados padrões com objetivo principal de servir de referência aos monitoramentos de viagens, mas podendo ainda subsidiar programação e planejamento.
- **Processo de monitoramento do progresso de viagens**: em que, para cada ponto GPS coletado pelo sistema AVL, é medida aderência da viagem em relação aos padrões gerados, identificadas descontinuidades (saídas da rota, paradas ou mudanças de sentido), definidos estados do sistema e gerados avisos.

O Processo de geração de padrões de viagem é aplicado a partir de base de dados históricos de posições GPS, continuamente alimentada pelo Processo de monitoramento do progresso de viagens. Assim, definiu-se que tais padrões podem ser gerados a cada nova viagem monitorada, o que demonstra seu caráter dinâmico. Esse dinamismo gera aprendizado sobre a viagem e rodovia com o tempo, sobre base de dados continuamente atualizadas.

O Processo de monitoramento do progresso de viagens é ainda mais dinâmico do que o anterior, ao realizar operações e atualizar o estado do sistema a cada ponto GPS coletado, ou a qualquer momento que o usuário solicitar.

A implantação do Processo global composto pelos dois processos desenvolvidos apresenta baixo custo, uma vez que as estruturas usadas são previamente

instaladas para outras finalidades. Sua operação possibilita realizar monitoramento com maior eficiência, menor risco de erros e gerenciar muitos veículos ao mesmo tempo, em comparação com processos convencionais na sua maioria por método visual.

Experimentação bem sucedida foi realizada, na qual houve simulação de viagem a partir dos dados GPS de viagens prévias, com resultados satisfatórios. A viagem selecionada referiu-se à rota na ligação rodoviária da BR116 entre os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro. Por meio da geração de padrões, foram determinados valores esperados de tempo de viagem e velocidade por segmento rodoviário, respectivos desvios padrões entre outros parâmetros. Foi então simulado o monitoramento da viagem, em que para cada ponto GPS levantado, foram gerados: desvios entre tempo real e esperado, aderência, atributos de progresso (atrasado, adiantado ou conforme esperado) e identificação de descontinuidades (saídas da rota, paradas e mudanças de sentido). Quando da ocorrência de mudanças de estado do sistema, a geração de avisos de alerta foi simulada com sucesso.

Com a implantação e operação desses métodos, é prevista melhoria de desempenho ao longo do tempo, pela calibração das condições de contorno e passagem da parte inicial da curva de aprendizado.

O sucesso da experimentação sugere continuidades relacionadas a aprofundamentos do estudo, como análise de influência de fatores tais como tipo de veículo, períodos do dia, dia da semana nos padrões de viagem e expansão da aplicação em áreas urbanas.

Esse trabalho aborda ainda sobre o surgimento de uma ampla gama de aplicações semelhantes para atender necessidades de roteirizações de veículos, estudos de planejamento de transportes, estudos de desempenho rodoviário, congestionamento entre outros. Assim, o campo de desenvolvimento dessas aplicações é vasto e desafiador.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. (Obra original: Business Logistics / Supply Chain Manegement. 5. ed. Pearson Education, Inc. 2004. Tradução: Raul Rubenich).

BATLEY, R. Marginal valuation of travel time and scheduling, and reliability premium. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 43, n. 4, p. 387-408, 2007. Disponível em www.sciencedirect.com.

BORGES, Karla A.V. Modelagem de Dados Geográficos: Uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas. Belo Horizonte, 1997. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Governo, Fundação João Pinheiro.

BUENO, R. Global Navigation Satellite System: mais que o navegar. **InfoGPS**, n.1, p. 38-40, 2007.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais – (INPE), 2004. Disponível em HTTP://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/.

CHEN, M; CHIEN; S. Dynamic Freeway Travel Time Prediction Using Probe Vehicle Data: Link-based vs. Path-based. Washington, DC: **Transportation Research Board**, p. 7-11, 2001. Apresentado a 80th Annual Meeting.

DION, F; RAKHA, H. Estimating dynamic roadway travel times using automatic vehicle identification data for low sampling rates. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 40, n. 9, p. 745-766, 2006. Disponível em www.sciencedirect.com.

DOHERTY, S. T. et al. Moving Beyond Observed Outcomes: Integrating Global Positioning Systems and Interactive Computer-Based Travel Behavior Surveys. **Transportation Research Board**, Washington, D.C, p. 449-466. 2001. National Research Council. Transportation Research Circular.

DU, J.; AULTMAN-HALL, L. Increasing the accuracy of trip rate information from passive multi-day GPS travel datasets: Automatic trip end identification issues. **Transportation Research Part A**, v. 41, n. 3, p. 220-232, 2007. Disponível em www.sciencedirect.com.

DU, J. Using Spatial Analysis to Estimate Link Travel Times on Local Roads. **Transportation Research Board 85th Annual Meeting, 2006**, 2006. Apresentado a 85th Annual Meeting.

HAUGHTON, M. A. The contribution of advanced package arrival information to efficient ground deliveries by international couriers. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,** v. 44, n.1, p. 66–83, 2006. Disponível em www.sciencedirect.com.

FONSECA JÚNIOR, E. S. **Sistema de posicionamento por satélites artificiais; conceitos e aplicações**. São Paulo: EPUSP / Departamento de Engenharia de Transportes/ Laboratório de Topografia e Geodésia, 2004. Notas de aula da disciplina de pós graduação PTR-5003 – Fundamentos de Informações Espaciais.

MCCORMACK, E.; HALLENBECK, M. E. **Options for Benchmarking Performance Improvements Achieved from Construction of Freight Mobility Projects**. Washington: State Transportation Center (TRAC), University of Washington, 2005.

QUDDUS, M. A.; OCHIENG, W. Y.; NOLAND, R. B. Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies,** v. 15, n. 5, p. 312-328, 2007. Disponível em www.sciencedirect.com.

QUIROGA, C. A.; BULLOCK, D. Travel time studies with global positioning and geographic information systems: an integrated methodology. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies,** v. 6, n.1-2, p. 101-127, 1998. Disponível em www.sciencedirect.com.

QUIROGA, C. A. Performance measures and data requirements for congestion management systems. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 8, n. 1-6, p. 287-306, 2000. Disponível em www.sciencedirect.com.

ROCHA, I. R. **Aplicação de GIS para monitoramento de trânsito em tempo real no município de Belo Horizonte**. 2006. 66 p(. Monografia de curso de especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., 1990, São Paulo. **Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**. São Paulo: EPUSP, 1990. p. 1-57.

RODRIGUES, M. AVL: Enfim mais recursos e custos menores. **Tecnologística**, n. 97, 2003.

RODRIGUES, M. Objetos Móveis. **InfoGPS**, n.2, 2008.

RODRIGUES, M. Sopa de Siglas. **InfoGPS**, n.5, 2008.

RUMBAUGH, J. et al. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Trad. de Dalton Conde de Alencar. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

TANIGUCHI, E.; SHIMAMOTO, H. Intelligent Transportation System based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel time. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v.12, n. 3-4, p.235-250, 2004. Disponível em www.sciencedirect.com.

TAYLOR, M. A. P.; WOOLLEY, J. E.; ZITO, R. Integration of the global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v.8, n. 1-6, p.257-285, 2000. Disponível em www.sciencedirect.com.

MODELAGEM de Dados Espaciais. São Paulo: EPUSP / Departamento de Engenharia de Transportes, 2004. 52 p. Apostila de disciplina de pós-graduação, PTR-5741 - Sistema de Informação Espacial.

REPRESENTAÇÃO de Dados Espaciais. São Paulo: EPUSP / Departamento de Engenharia de Transportes, 2004. 48 p. Apostila de disciplina de pós-graduação, PTR-5741 - Sistema de Informação Espacial.

WOLF, J. **Applications of new technologies in travel surveys**. International Conference on Transport Survey Quality and Innovation, 2004.

APÊNDICE A – Conceitos Importantes

A seguir alguns conceitos relacionados ao trabalho.

- **Freqüência de coleta**

É a freqüência temporal com que são realizadas as coletas de posicionamentos GPS na mesma viagem.

- **Período entre coletas**

É o inverso da freqüência de coleta e corresponde ao intervalo de tempo entre duas coletas de pontos GPS consecutivas.

- **Densidade de pontos - taxa amostral**

É o quociente entre quantidade de pontos de diferentes veículos/viagens, linearmente distribuídos, e a distância do trecho rodoviário em estudo.

- **Intervalo Espacial de pontos**

É a distância média entre pontos consecutivos ao longo da mesma rota, de diferentes viagens/veículos.

- **Deslocamento AB**

É o movimento de um objeto de um local A para um local B

- **Viagem**

É o processo de deslocamento de um objeto, entre dois locais, uma origem e um destino, podendo haver paradas durante o seu andamento.

- **Origem**

É o local inicial de uma viagem**.**

- **Destino**

É o local final de uma viagem, onde deve estar associada uma atividade/ motivo.

- **Parada**

É o local onde o veículo efetuou uma parada para realização de uma atividade e não por restrição rodoviária. Assim, paradas para carregamento/descarregamento, almoço, descanso do motorista, pernoite são consideradas paradas, no entanto desacelerações por motivos de congestionamento, pedágio, rampas, não são consideradas paradas.

- **Trajetória/traço/rastro (atributos de tempo e espaço)**

É o histórico de movimento de um veículo. Pode ser representados virtualmente por meio da união (generalização) dos pontos GPS ordenados cronologicamente.

- **Rota**

É o percurso realizado ao longo das vias por um veículo para realizar uma viagem, ou seja, a trajetória sobre os trechos rodoviários e pode ser representada por um encadeamento de arcos de rede.

ANEXO A - Sistemas de Quilometragem da BR116 (Rio de Janeiro – São Paulo)

Convenções

Saídas | Policia Rodoviária | Bom p/fotos | Boa Parada | Rodovia

Rio de Janeiro

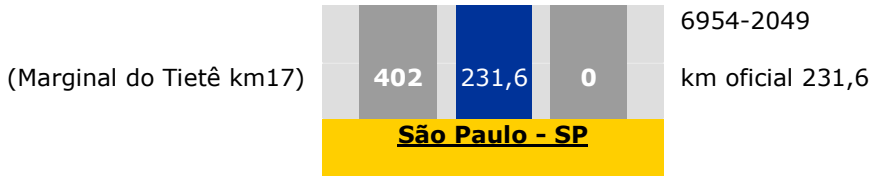
Av. Brasil	0	163	402	km oficial 163
				(21) 2471-6111 - Central
Linha Vermelha - *SOS*	3	166	399	L. Vermelha Centro
		*		/Copacabana/ **BR-040**
9, Duque de Caxias	4	167	398	S. João de Meriti
BELFORD ROXO	12	175	390	
	15,2	178	387	NOVA IGUAÇU
Queimados	27	190	375	
	41	204	361	
11, Japeri 46, Miguel Pereira 53, Pati do Alferes - *SOS* **Pedágio** (km 206,23-Viúva Graça)	43	206	359	**Pedágio** (km 206,23-Viúva Graça)
	44	* 207	358	
	45	208	357	**BR-101** Seropédica - Itaguaí, 26

22, Eng.P.Frontin					
30, Mendes					
13, Paracambi	48		211	354	
48, Vassouras					
Início da Serra das Araras	55	*	218	347	
Fim da Serra das Araras	64		227	* 338	(24) 2431-1180 – ***SOS***
					Passa Três, 19
	69		232	333	Rio Claro, 42
					Angra dos Reis, 100
64, Valença					
55, **Conservatória**	74		237	328	
28, Barra do Piraí - Piraí					
(24) 3320-6182	94	*	257	308	Pinheiral
SOS - VOLTA REDONDA	95		258	307	
BR-393 -					
1653, Salvador	102		265	300	
118, Três Rios					
9,Volta Redonda					
					Angra dos Reis, 87
BARRA MANSA	108		271	294	Bananal, 50
	124	*	287	276	(24) 3328-5533
Floriano	127		290	275	
5, Quatis - 3, Porto Real					
Acad. Militar Agulhas Negras	142		305	260	RESENDE
35, **Visconde de Mauá**					
(22km Terra)	148		311	* 254	(24) 3360-9297
6, **Penedo**					

Posto Jardim Itatiaia	153	316	249	
Pq. Nacional de Itatiaia				**ITATIAIA**
Pedágio	155	318	247	**Pedágio**
(km318,90 - Itatiaia)				(km318,90 - Itatiaia)
Posto Fiscal	160	323	242	Posto Fiscal
91, Caxambú				
80, São Lourenço				
BR-354 - 47, Itamonte -	167	330	235	
ENG.PASSOS				
				RJ - **Oficial km 333,6** -
BR-116 - **Oficial km 0** -	170	333,6 *	232	**BR-116**
SP				Balança
	175	5	227	Posto Fiscal
				Areias , 12 km - 4 de terra
				Queluz - P.N.S.Bocaina, 62
	178	8	224	(27km terra)
				S.J.do Barreiro, 35 -
				Bananal, 69
	188	18 *	214	*SOS* - (12) 3101-1966
Lavrinhas	193	25	213	
SP-052 - 39, P.Quatro				
90, **S.Lourenço**	199	29	203	
102, Caxambú - CRUZEIRO				
	206	36	196	Silveiras, 14
48, P.Quatro				
99, **São Lourenço**	209	39	193	
111, Caxambú -				
CACH.PAULISTA				
BR-459	221	51	181	*SOS*

245, Poços de Caldas					
86, Itajubá - 15, Piquete					
LORENA					
P. Arco-Íris Lorena	222		52	180	
					Cunha, 51
GUARATINGUETÁ	235		65	167	**(Guia Guaratinguetá - Cunha - Parati)**
(Basílica) APARECIDA	241	*	71	161	(12) 3105-0307
P. Arco-Íris Aparecida	245		75	157	
(12) 3646-1200	248	*	78	154	
ROSEIRA	251		81	151	
	252		82	150	***P. Arco-Iris Roseira***
Moreira César					
Pedágio	255		86	147	**Pedágio**
(km 86,81)					(km 86,81)
(12) 3646-1200	257	*	87	145	
PINDAMONHAGABA	269		99	133	*SOS*
Tremembé	277		107	125	
					Rod.Oswaldo Cruz
TAUBATÉ	280		110	122	**SP-125**
					S.Luis do Paraitinga, 30
					Ubatuba, 94
(12) 3621-8704	283	*	113	119	
SP-070					
Rod.Carvalho Pinto					
QUIRIRIM	287		117	115	(130 Fim Rod. Carvalho Pinto) Continuação
130, S.PAULO					
65, C.de Jordão					
CAÇAPAVA	298		128	104	Jambeiro, 23

93, Campos de Jordão				(0 - Rod.Tamoios - 10) -
SÃO JOSE DOS CAMPOS	319	149	83	SP-099
SOS - (12) 3931-7088	327 *	157 *	75	(12) 3921-6563
(12) 3958-2578	329	159 *	73	
Pedágio				**Pedágio**
(km 165,0 - Jacareí)	336	165	66	(km 165,0 - Jacareí)
	337	166	65	JACAREÍ
SP-065 Rod.D.Pedro	339	169	63	
123, Campinas - 71, Atibaia				
	343	173	59	Guararema
SP-070 - Acesso				
Rod.Ayrton Senna	349	179	53	(65, Rod.A.Senna) - SP-070
65, S.Paulo - Balança				
	351	180	51	**Pedágio** (km 180,25 - Parateí Sul)
16, Santa Isabel	357	187	45	
(11) 4655-8927	368 *	198	34	
ARUJÁ	370	200	32	SP-070
SOS				
Pedágio	372	201	30	
(km204,70-Parateí Norte)				
Bonsucesso	379	208 *	23	(11) 6480-4290
Aeroporto de Cumbica	389	218	13	SP-070
GUARULHOS	393	224	9	
BR-381				
Rod.Fernão Dias	397	226	5	
573, Belo Horizonte				
SOS	400	229 *	2	(11) 6095-2300 Central: (11) 6954-1814 /


6954-2049
(Marginal do Tietê km17)
402
231,6
0
km oficial 231,6
São Paulo - SP

ANEXO B – Exemplo de Rotograma – BR116 (Rio de Janeiro São Paulo)

	Trecho/Ponto de Referência	Eixo	Pedágio (R$)	Distância (km)	Tempo Viagem
	Rio de Janeiro (Pça. XV de Nov.) - RJ				00:00
	Av. Rio de Janeiro			1,07	
BR101-RJ	Av. Brasil			18,00	
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			64,53	
	Viúva Graça (Paracambi - RJ) - km 207,0	**2/D**	**11,60**		
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			72,53	
	Posto Policial - Pacaembi - km 215,0				
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			114,33	
	Posto Policial - Volta Redonda - km 256,0				
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			144,84	
	Posto Policial - Barra Mansa - km 283,0				
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			179,84	
	Itatiaia - km 318,0	**2/D**	**11,60**		
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			180,04	
	Itatiaia - RJ				02:25
BR116-RJ	Rod. Pres. Dutra			197,42	
	Divisa Estadual RJ-SP				
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			203,42	
	Queluz - SP				02:43
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			267,36	
	Guaratinguetá - SP				03:31
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			282,52	
	Roseira - SP				03:42
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			291,41	
	Moreira Cesar - km 88,0	**2/D**	**11,60**		
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			330,24	
	Posto Policial - Caçapava - km 128,0				
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			375,93	
	Jacareí - km 165,0	**2/D**	**5,00**		
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			396,63	
	Parateí - Sul - km 180,0	**2/D**	**5,60**		
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra			421,06	

	Balança Móvel - Arujá - km 211,0		
BR116-SP	Rod. Pres. Dutra	450,42	
	Marginal Tietê	454,75	
	Pte. das Bandeiras	455,32	
	Av. Santos Dumont	456,59	
	Av. Prestes Maia	457,64	
	Tun. Norte-Sul	458,11	
	São Paulo (Pça. da Sé) - SP		06:05