

Ana Paula Martins de Araujo

**Desenvolvimento de Sistemas
Inteligentes de Transporte Baseados na
Arquitetura de Referência NIA**

**FLORIANÓPOLIS
2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Desenvolvimento de Sistemas
Inteligentes de Transporte Baseados na
Arquitetura de Referência NIA**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Ana Paula Martins de Araujo

Florianópolis, Março/2004.

Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes de Transporte Baseados na Arquitetura de Referência NIA

Ana Paula Martins de Araujo

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Controle, Automação e Informática Industrial*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

Jean-Marie Farines
Orientador

Werner Kraus Junior
Co-orientador

Jefferson Brum Marques
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Jean-Marie Farines, PhD.
Presidente

Werner Kraus Junior, PhD.
Co-orientador

Carlos Barros Montez, Dr.

Rômulo Silva de Oliveira, Dr.

Vitório Bruno Mazzola, Dr.

*A Deus, meus pais Manoel e Selma, meus irmãos Vinícius e Roberta e por último, mas não
menos importante, Cristyan.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, sempre presentes e companheiros em todo e qualquer novo desafio.

Aos meus irmãos pelo carinho.

Ao meu amado Cristyan, que sempre acreditou e me esperou no cumprimento dessa etapa da minha vida.

Aos amigos Jerusa, pela amizade e pela paciência com meu mau humor, Pri e Pati, pela fiel amizade, Emerson e Fabio's' pela força e paciência nos momentos de dificuldade.

E a todos os amigos que se fizeram presentes durante esse período e o tornaram mais descontraído e alegre.

Aos meus orientadores que confiaram no desenvolvimento deste trabalho mesmo à distância.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**Desenvolvimento de Sistemas
Inteligentes de Transporte Baseados na
Arquitetura de Referência NIA
Ana Paula Martins de Araujo**

Março/2004

Orientador: Jean-Marie Farines

Área de Concentração: Controle, Automação e Informática Industrial

Palavras-chave: Sistemas Inteligentes de Transporte, Arquitetura de Sistemas.

Número de Páginas: 15 + 117

Os ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte, do inglês, *Intelligent Transportation Systems*) têm sido adotados como uma solução moderna para problemas de mobilidade nas cidades. Soluções sofisticadas têm sido necessárias uma vez que existem várias origens de informações interagindo no ambiente viário, tornando a provisão de mobilidade uma tarefa complexa. Esta complexidade cresce na mesma proporção do crescimento populacional e conseqüente aumento da demanda populacional por mobilidade.

Muitas aplicações relacionadas à mobilidade compartilham informações entre si. Por exemplo, sistemas de horários e itinerários de transporte coletivos e sistemas de controle de tráfego, os quais tratam de diferentes problemas usam informações em comum, quando são empregados esquemas de prioridade para veículos de transporte coletivo.

Devido ao amplo escopo e a natureza distribuída dos ITS, o desenvolvimento deste tipo de sistema apoiado por uma arquitetura que suporte a interoperação de diferentes aplicações dentro de um sistema mais amplo é beneficiado. Um exemplo de uma arquitetura referência é a National ITS Architecture (NIA), definida nos Estados Unidos pelo seu Departamento de Transportes.

Este trabalho apresenta um estudo sobre a NIA com o objetivo de definir uma metodologia de desenvolvimento de software baseada na análise exaustiva dos requisitos de ITS da NIA. Obteve-se uma metodologia orientada a objetos a qual parte das especificações da NIA e desenvolve diagramas UML para modelagem de aplicações específicas. Um protótipo de aplicação foi implementado, ilustrando como esta metodologia foi obtida.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

Development of Intelligent Transportation Systems Based on NIA Reference Architecture

Ana Paula Martins de Araujo

March/2004

Advisor: Jean-Marie Farines

Area of Concentration: Control, Automation and Industrial Computing

Key words: Intelligent Transportation Systems, System Architecture.

Number of Pages: 15 + 117

ITS (Intelligent Transportation Systems) have been adopted as a modern solution to mobility problems in cities. Sophisticated solutions have been demanded because there are many sources of information interacting in the transport environment, making the provision of mobility a complex task. This complexity grows with the populational increase and the consequent demand for mobility.

Many applications related to mobility share information. For instance, there are systems for transit schedules and itineraries and systems for area-wide urban traffic control, which focus on different problems but share information when bus priority schemes are deployed.

Because of the breadth of scope and the distributed nature of ITS, the development of this kind of system benefits from having an architecture that supports interoperation between different applications within the wider system. An example of such reference architecture is the National ITS Architecture (NIA), defined in the United States by its Department of Transportation.

This work presents a study about NIA aiming at producing a software development methodology based on NIA extensive analysis of ITS requirements. An object-oriented methodology is derived which, starting from NIA specifications, develops UML diagrams for modeling the particular application. A prototype application has been implemented, illustrating how this methodology was developed.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Problemas Relacionados à Mobilidade Urbana	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Sistemas Inteligentes de Transporte	2
1.4	Aplicação de ITS em Alguns Países	3
1.4.1	ITS no Japão	4
1.4.2	ITS nos Estados Unidos	5
1.4.3	ITS na Comunidade Européia	5
1.4.4	ITS no Brasil	6
1.4.5	Cenário atual de ITS	7
1.5	Padrões de Arquitetura de Software	7
1.5.1	Definição	7
1.5.2	Arquitetura Adotada	9
1.6	Organização da Dissertação	9
2	Uma Arquitetura de Referência para Transportes	11
2.1	Introdução	11
2.2	Abordagem Conceitual da National ITS Architecture	11

2.2.1	Conceituação Geral	11
2.2.2	A Arquitetura NIA	13
2.3	Serviços de Usuários	15
2.4	Arquitetura Lógica	16
2.5	Arquitetura Física	20
2.5.1	Subsistemas e Terminadores da Arquitetura ITS	20
2.5.2	Comunicação Entre os Elementos da Arquitetura Física	31
2.6	Pacotes de Mercado	33
2.7	Turbo Architecture	37
2.7.1	Entrada de Dados	37
2.7.2	Saídas geradas pela ferramenta	39
2.7.3	Análise da Ferramenta	43
2.8	Conclusão	43
3	Protótipo do Serviço de Informação ao Viajante Baseado na NIA	44
3.1	Introdução	44
3.2	Serviços de Informação aos Viajantes	44
3.2.1	Descrição do Serviço	44
3.2.2	Identificando Dados e Processos para Implementação do Serviço	45
3.2.3	Mapeamento para a Arquitetura Física	45
3.2.4	Pacote de Informação Interativa ao Viajante	47
3.3	Serviço de Controle de Tráfego	50
3.3.1	Descrição do Serviço	50
3.3.2	Identificando Dados e Processos para Implementação do Serviço	51
3.3.3	Mapeamento para a Arquitetura Física	52

3.3.4	Pacote de Observação da Rede Viária	53
3.3.5	Pacote de Controle da Superfície Viária	56
3.4	Implementação do Protótipo	58
3.4.1	Especificações Extraídas da NIA	58
3.4.2	Plataforma de Comunicação Entre os Subsistemas Envolvidos na Solução	62
3.4.3	Detalhes de Implementação	64
3.5	Representação UML do Protótipo	66
3.6	Simulação de Tráfego	72
3.7	Resultados da Implementação	73
3.8	Conclusão	74
4	Metodologia Orientada a Objetos para o Desenvolvimento de Aplicações Utilizando a Referência NIA	76
4.1	Introdução	76
4.2	Descrição da Metodologia	77
4.2.1	Análise de Requisitos	77
4.2.2	Enquadrando o Problema ao <i>Framework</i> da NIA	77
4.2.3	Identificando o Relacionamento com Outros Serviços	78
4.2.4	Extraindo as Especificações da NIA	79
4.2.5	Tradução dos Modelos NIA para os Modelos UML	80
4.3	Resumo da Proposta Metodológica	93
4.4	Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Utilizando esta Metodologia	94
4.5	Conclusão	95
5	Conclusão	96
A	Descrição dos processos em alto nível de abstração da Arquitetura Lógica	98

B	Especificação de Processos e Dicionário de Dados	102
B.1	PSpecs	102
B.2	Dicionário de Dados	104
C	Fluxos de Arquitetura do Protótipo	107
D	Modelo de Tráfego	109

Lista de Figuras

1.1	Modelo de Visão 4+1 usado para organizar a descrição de arquitetura de software (Kruchten, 1995).	8
2.1	O fornecimento de ITS visto sob a perspectiva de um mercado econômico. . .	12
2.2	Processo de desenvolvimento da NIA.	13
2.3	Representação esquemática de um pacote de mercado.	14
2.4	Exemplo da decomposição funcional da Arquitetura Lógica (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002e).	18
2.5	DFD de alto nível da Arquitetura Lógica simplificado (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002a).	19
2.6	Uma visão simplificada estrutural da arquitetura (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002d).	20
2.7	Diagrama da Arquitetura Física (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002d).	22
2.8	Interconexão de subsistemas através de fluxos de arquitetura.	31
2.9	Tela inicial de entrevistas direcionada por categorias de serviços de usuários. .	38
2.10	Interface de entrada direta de dados no software.	38
2.11	Tela de opções de diagramas disponíveis.	39
2.12	Diagrama de comunicações.	40
2.13	Diagrama de interconexão.	40
2.14	Diagrama de fluxo.	41

2.15	Tela de opções de relatórios disponíveis para serem gerados.	42
2.16	Relatório gerado pelo programa.	42
3.1	Diagrama de Fluxo de Dados envolvido na implementação do Serviço de Informação ao Viajante.	46
3.2	Fluxo de arquitetura entre subsistemas para oferecer o Serviço de Informação ao Viajante.	47
3.3	Representação gráfica do Pacote de Mercado ATIS2 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).	49
3.4	Diagrama de transações do Pacote de Mercado ATIS2 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).	51
3.5	Diagrama de Fluxo de Dados envolvido na implementação parcial do serviço de Controle de Tráfego.	52
3.6	Fluxo de arquitetura entre subsistemas para oferecer parcialmente o serviço de Controle de Tráfego.	53
3.7	Representação gráfica do Pacote de Mercado ATMS01 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).	54
3.8	Diagrama de Transações do Pacote de Mercado ATMS01.	55
3.9	Representação gráfica do Pacote de Mercado ATMS03 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).	57
3.10	Diagrama de Transações do Pacote de Mercado ATMS03.	58
3.11	DFD Integrado dos processos que implementam parcialmente os serviços de informação ao viajante e de controle de tráfego.	60
3.12	Mapeamento da arquitetura lógica para a arquitetura física.	61
3.13	Diagrama de transações do protótipo.	61
3.14	Modalidade de comunicação para fornecer os serviços implementados pelo protótipo.	62
3.15	Arquitetura CORBA. (Oliveira et al., 2002)	63
3.16	Comunicação entre os subsistemas.	64

3.17	Definição das interfaces entre os subsistemas implementados no protótipo.	66
3.18	Diagrama de Caso de Uso do Protótipo - Serviço de Informação ao Viajante.	67
3.19	Diagrama de Caso de Uso do Protótipo - Serviço de Controle de Tráfego.	67
3.20	Diagrama de Classes do protótipo.	69
3.21	Diagrama de Seqüência do caso de uso “Acessa informações sobre as condições de tráfego”.	70
3.22	Diagrama de Seqüência do caso de uso “Fornece instrumentação das vias”.	71
3.23	Diagrama de Seqüência do caso de uso “Determina estratégias de controle de tráfego”.	71
3.24	Esquema da via simulada.	72
3.25	Execução do protótipo em rede.	73
3.26	Interface do protótipo que fornece as condições de tráfego de uma via.	74
4.1	Diagrama de Casos de Uso dos Serviços de Informação ao Viajante.	81
4.2	Diagrama de Casos de Uso dos Serviços de Controle de Tráfego.	81
4.3	Diagrama de Classes com métodos em “conflito”.	83
4.4	Divisão de um PSpec em subfunções.	84
4.5	Diagrama de Classes obtido após a divisão em subfunções dos PSpecs.	84
4.6	Diagrama de Seqüência do caso de uso “Acesso às informações sobre as condições de tráfego”.	85
4.7	Diagrama de Seqüência do caso de uso “Determina estratégias de controle de tráfego”.	86
4.8	Diagrama de Seqüência do caso de uso “Fornece instrumentação das vias”.	86
4.9	Diagrama de Fluxo de Dados do Serviço de Informação ao Viajante.	87
4.10	Diagrama de Atividades para o Serviço de Informação ao Viajante.	88
4.11	Diagrama de Fluxo de Dados do Serviço de Controle de Tráfego.	88

4.12 Diagrama de Atividades para o Serviço de Controle de Tráfego - Função de Observação e Disponibilização de Informação.	89
4.13 Diagrama de Atividades para o Serviço de Controle de Tráfego - Função de Controle.	89
4.14 Diagrama de Pacotes.	91
4.15 Diagrama de Implantação.	92
4.16 Esquema da Metodologia Proposta.	93
4.17 Esquema de um ambiente de desenvolvimento utilizando a metodologia proposta.	94
D.1 Seções de um arco (Galvão e Kraus, 2003)	111

Lista de Tabelas

2.1	Serviços a Usuários ITS (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002a).	17
2.2	Subsistemas da NIA associados aos Serviços de Usuários.	30
2.3	Grupos de Pacotes de Mercado associados aos Serviços de Usuários.	36
3.1	Associação entre processos e pacotes de equipamentos do Pacote de Mercado ATIS2.	50
3.2	Associação entre processos e pacotes de equipamentos do Pacote de Mercado ATMS01.	55
3.3	Associação entre processos e pacotes de equipamentos do Pacote de Mercado ATMS03.	56
3.4	Correspondência existente entre Serviços de Usuários, Pacotes de Mercado e Casos de Uso.	67

Capítulo 1

Introdução

1.1 Problemas Relacionados à Mobilidade Urbana

A busca por mobilidade nos centros urbanos é crescente visto que a demanda de viagens pela população aumenta a cada dia provocando assim uma saturação da rede viária, uma vez que o crescimento da infraestrutura viária não tem condições de crescer na mesma proporção de sua demanda (NTU, 2000).

Dentro deste contexto, a falta de informações disponíveis aos usuários que atuam e/ou interagem com o espaço viário torna mais difícil obter um melhor planejamento de viagens de pedestres e motoristas, logísticas de transportes e até mesmo um controle de tráfego mais eficiente. Para ilustrar este cenário, temos algumas das situações como: usuários do transporte coletivo que têm dificuldade em acessar quadros de horários e itinerários; operadores de fretes no planejamento de suas logísticas que sofrem prejuízos pela falta de informações sobre atrasos em rotas; motoristas que não podem escolher trajetos por não contarem com informação em tempo real; no controle de tráfego urbano, tem-se frequentemente semáforos mal ajustados, operando com planos desatualizados e sem sincronismo (Farines e Kraus, 2003).

A precária sistematização na coleta, tratamento e disponibilização de informações sobre transportes traz consigo ainda outros problemas os quais estão relacionados a (Prefeitura de Blumenau, 2003; Tapia e Ferraz, 2002; Mantovani e Raia, 2002; UFSC, 2003): perdas econômicas, em especial para os setores de renda mais baixa, impactos negativos ao meio ambiente, poluição sonora, degradação da qualidade de vida urbana, aumento dos congestionamentos, demora nos deslocamentos, aumento no consumo de combustível, elevados índices de acidentes de tráfego, entre outros.

Nesta busca pela solução dos problemas de mobilidade surgem os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), os quais procuram melhorar a eficiência e a segurança nos sistemas de transporte (Iteris, 1999).

Contudo, mais do que ter ITSs aplicados à solução de problemas específicos é necessário ter uma arquitetura de sistemas que contemple a interoperação de diferentes sistemas que tratam os diferentes problemas dentro do escopo de mobilidade e transporte, prevendo as trocas de informações entre eles, com o objetivo de sanar a deficiência de disponibilidade das informações nas soluções relacionadas aos diferentes problemas de transporte.

Para exemplificar a importância desse intercâmbio de informações tem-se: sistemas de horários e itinerários de transporte coletivo, sistemas de controle de tráfego urbano, sistemas de gestão de estacionamentos, entre outros. As informações tratadas em cada um deles tem o potencial de contribuir na operação uns dos outros, uma vez que, ao tratar do problema da mobilidade de pessoas e mercadorias, eles interagem no espaço das vias públicas (Araujo et al., 2002).

1.2 Objetivo

Considerando o problema relacionado à falta de informação no sentido de prover uma melhoria na mobilidade urbana das cidades, este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta de metodologia orientada a objetos para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de transporte. Tal metodologia deve se enquadrar em uma arquitetura de sistemas que propicie o projeto de sistemas interoperantes.

Então, no decorrer deste capítulo, inicialmente os Sistemas Inteligentes de Transporte são abordados, assim como seu emprego em diferentes países do mundo (seções 1.3 e 1.4). Em seguida, é feita uma descrição a respeito de Padrões de Arquiteturas de Software, com o objetivo de justificar o porquê da adoção de uma arquitetura de sistemas (seção 1.5) no desenvolvimento de aplicações. Por fim, é comentado rapidamente sobre qual arquitetura de sistemas foi adotada neste trabalho (seção 1.5.2), a qual será mais detalhadamente descrita posteriormente (Capítulo 2).

1.3 Sistemas Inteligentes de Transporte

Para se chegar a um melhor gerenciamento do espaço viário uma grande quantidade de informações disponíveis devem ser levadas em consideração.

Associando a grande quantidade de informações que devem ser consideradas à necessidade por informações sobre o espaço viário de acordo com os diferentes interesses das pessoas que atuam e interagem sobre ele, o uso da tecnologia de comunicação e de sistemas têm sido empregados com o propósito de alcançar resultados eficientes na provisão da melhoria das condições de mobilidade para qualquer usuário do espaço viário (Black, 2000).

O desenvolvimento de softwares que tratam diversas instâncias relacionadas ao transporte de pessoas e mercadorias geralmente visam aplicações específicas. Entretanto, eles deveriam de alguma forma interagir através da troca de informações que são de interesse entre os diversos sistemas, tendo como objetivo comum a solução dos problemas de mobilidade urbana como um todo. Como já dito anteriormente, as informações pertinentes a sistemas como de controle de tráfego, gerência de transportes coletivos, gerência de estacionamento, entre outros, quando intercambiadas entre si podem contribuir sinergicamente ao tratar o problema de pessoas e mercadorias, uma vez que interagem sobre o mesmo espaço viário (Araujo et al., 2002).

Nesta perspectiva, as soluções modernas voltadas a transportes, hoje, utilizam sistemas chamados ITS (*Intelligent Transportation Systems*). Um ITS é um sistema definido por dispositivos eletrônicos, de comunicações ou de processamento de informação, usado de forma integrada ou não para melhorar a eficiência e segurança nos sistemas de transporte (Iteris, 1999).

Vários países têm elaborado planos nacionais para utilizar ITS de forma mais eficiente no tratamento dos seus sistemas de transporte. Esses planos e arquiteturas geralmente são mais amplos, procurando atingir não somente o espaço urbano das cidades, mas também a estrutura de ligação inter-estadual envolvendo também auto-estradas.

No caso dos Estados Unidos, a agência de ITS americana (ITSA - *ITS America*), propõe um padrão de arquitetura de software, com o propósito de direcionar as soluções nas diferentes regiões do país em relação ao desenvolvimento de ITS, de forma que essas regiões, adotando tal arquitetura como referência, sejam capazes de interoperar.

A seguir é feito um breve levantamento a respeito da situação do emprego de ITS em diferentes países.

1.4 Aplicação de ITS em Alguns Países

Os problemas relacionados à mobilidade dentro de centros urbanos estão presentes em diversos países ao redor do mundo. Por este motivo muitos desses países têm investido na

busca por soluções capazes de trazer resultados mais eficazes envolvendo o desenvolvimento e emprego de ITS.

Esta seção tem por finalidade trazer uma visão geral a respeito dos países que já há algum tempo têm empregado ITS na busca por soluções de mobilidade de suas populações, como Japão, Estados Unidos, países da Comunidade Européia e mais recentemente no Brasil.

1.4.1 ITS no Japão

Devido à sua grande densidade populacional e uma rede viária limitada, o Japão antes de qualquer outro país se deparou com problemas como, grandes congestionamentos. Por este motivo, seu interesse no desenvolvimento de ITS para solucionar os problemas relacionados ao transporte iniciou anteriormente a outros países e por isso, hoje, é o país mais avançado no emprego de tecnologia de telecomunicações na solução de problemas no setor de transportes (Vianna et al., 1999).

Desde a década de 50 foram iniciados programas de pesquisa voltados ao desenvolvimento tecnológico aplicado ao setor de transportes. Contudo, os primeiros resultados dessas pesquisas surgiram somente na década de 70 com a implantação do CACS (*Comprehensive Automobile Traffic Control System*), seguido anos depois pelo *Automobile Traffic Information and Control System*.

Na década de 80 dois novos programas se destacaram: o RACS (*Road/Automobile Communication Systems*) e o AMTICS (*Advanced Mobile Traffic Information and Communication*) (Vianna et al., 1999; U.S. Department of Transportation, 1996).

Em agosto de 1994 foi criado o *Advanced Information and Telecommunications Society Promotion Headquarters*, com o objetivo de incentivar e prover o desenvolvimento da infraestrutura das telecomunicações e de transmissão de dados de alta performance. No ano seguinte o governo japonês estabeleceu o que foi chamado de "*Basic Guidelines on the Promotion of an Advanced Information and Telecommunications Society*", dando origem a outras diretrizes voltadas especificamente ao desenvolvimento do ITS: "*Basic Government Guidelines of Advanced Information and Communications in the Fields of Roads, Traffic and Vehicles*" (U.S. Department of Transportation, 1996).

Essas diretrizes incluem 11 leis de incentivo a pesquisa e desenvolvimento de ITS, além da integração de projetos individuais em concordância com um programa de ITS. Estas leis incluem o desenvolvimento de uma arquitetura de sistemas, pesquisa e desenvolvimento, padronização e cooperação internacional, e assim por diante (U.S. Department of Transportation, 1996).

1.4.2 ITS nos Estados Unidos

As pesquisas relativas a ITS nos Estados Unidos iniciaram por volta de 1960, contudo os investimentos nesta área sofreram uma sensível redução impedindo avanços significativos. No início de 1980 as pesquisas foram retomadas, partindo de um plano delineador de ITS, formulado por acadêmicos, funcionários do governo e representantes de empresas privadas (U.S. Department of Transportation, 1996).

Este grupo conhecido como *Mobility 2000* deu origem ao IVHS América (*Intelligent Vehicle Highway Society of America*), hoje reconhecido por ITS América (ITSA) (Vianna et al., 1999).

Inicialmente partiu-se da definição de sete sistemas funcionais aplicados à gerência de tráfego, informações a viajantes, controle avançado de veículos, cobrança eletrônica de tarifas, transportes públicos, transportes rurais e operação de veículos convencionais.

Atualmente os progressos relacionados às pesquisas em ITS nos EUA apresentam uma relevância significativa. Existe uma arquitetura nacional definida (NIA - *National ITS Architecture*), a qual traz diretrizes para o desenvolvimento de ITS em instâncias regionais. Além disso, foram definidos padrões que permitem a interoperabilidade nacional entre os serviços ITS oferecidos (ITS America, 2003).

1.4.3 ITS na Comunidade Européia

Da mesma forma que nos Estados Unidos as pesquisas em ITS na Europa iniciaram no início de 1960, porém só ganharam força e reconhecimento a partir de 1980.

Uma característica peculiar do programa ITS europeu, em relação ao Japão e Estados Unidos é que envolve a interoperabilidade entre vários países da comunidade européia. Uma vez que a perspectiva da criação da área de livre comércio europeu era iminente na época, logo a demanda por transportes traria consigo sérios problemas de transportes entre as fronteiras nacionais do continente europeu (Vianna et al., 1999).

O programa DRIVE (*Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europa*) (Andeli, 1989) surgiu visando definir em linhas gerais um programa de ITS, desenvolver sistemas capazes de aumentar a segurança no trânsito, maximizar a eficiência do tráfego e reduzir a incidência de impactos ambientais.

O programa ITS europeu traz uma característica interessante no sentido de expressar a preocupação com usuários como pedestres, incluindo questões de segurança aos mesmos,

usuários de transportes coletivos, provendo seu uso de forma mais abrangente e eficaz, além da valorização dos sistemas de escolha modal.

A ERTICO (*European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization*) (European Commission and European ITS Industry, 1991), criada em 1991, a partir desta data passou a coordenar a implementação de ITS na Europa, assim como estruturar uma arquitetura de sistemas.

Além dos programas já citados, ainda outros surgiram e estão desenvolvendo-se desde então, cada um deles com objetivos distintos. Dentre esses programas são citados (Andeli, 1989):

- PROMETHEUS (*Programme for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety*): programa aplicado ao desenvolvimento de um sistema uniforme e seguro no território europeu.
- DRIVE II ou ATT (*Advanced Transport Telematics*): tem por objetivo consolidar as pesquisas sobre o uso da telemática no transporte rodoviário e estender estes conceitos aos transportes multimodais.

Ainda projetos específicos aplicados ao Gerenciamento de Estacionamento foram desenvolvidos, como por exemplo: ADEPT, CAPITALS, CONCERT, FRUIT, GAUDI e ROMANSE (Vianna et al., 1999).

1.4.4 ITS no Brasil

As pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de ITS no Brasil são um tanto quanto recentes, logo os sistemas inteligentes de transporte são restritos a apenas algumas áreas de aplicação como: cobrança de pedágio eletrônico implantado por empresas privadas, gerenciamento de tráfego integrado e adaptativo e controle de veículos convencionais (Vianna et al., 1999).

Estudos vêm sendo realizados visando a criação de um Programa Nacional de Aplicação de Telemática nos Transportes (PNATT), o qual participa de um projeto coordenado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), com o objetivo de propor um modelo de comunicação estabelecendo um plano que seja adotado em nível nacional (Vianna et al., 1999).

1.4.5 Cenário atual de ITS

De acordo com o breve levantamento feito a respeito da aplicação de ITS em diferentes partes do mundo é possível perceber a tendência em se definir arquiteturas de referência para ITS, seja unificadamente (Estados Unidos), ou coordenadamente (Europa).

No Brasil, ainda não existe nenhum esforço concreto dentro desta tendência no sentido de traçar um plano concreto que envolva uma arquitetura de sistemas para ITS.

No entanto, o desenvolvimento de uma arquitetura de sistemas é fundamental no desenvolvimento de soluções que sejam capazes de interoperar provendo melhores desempenhos na implantação de ITS.

Na próxima seção deste capítulo será apresentada uma breve discussão a respeito de padrões de arquitetura, levantando aspectos que justificam a adoção desses padrões na construção de sistemas, especialmente, aqueles que envolvem um nível maior de complexidade.

1.5 Padrões de Arquitetura de Software

1.5.1 Definição

A importância de se representar e explorar o conhecimento adquirido no processo de desenvolvimento de novos sistemas tem sido percebida há muito tempo pelos projetistas de software devido aos problemas identificados na produção de sistemas, onde a complexidade e escala de desenvolvimento são maiores (Brooks, 1975) *apud* (Xavier, 2001).

Sistemas complexos e de larga escala exigem um nível especial de coordenação e integração e isto tem sido reconhecido em arquiteturas de software de domínios específicos (Rossak e et. all, 1997).

Uma arquitetura de software pode ser descrita como uma topologia de componentes, formalizando uma representação uniforme do conjunto de elementos envolvidos na construção de um sistema (Shaw, 1989).

Dentre as definições dadas ao termo *Arquitetura de Software* pelos diversos autores da literatura, este pode ser definido sucintamente como a especificação de um conjunto de componentes e das ligações entre os mesmos.

A construção de uma arquitetura deve ter como diretriz de base o desenvolvimento de uma solução na qual a dependência entre módulos seja minimizada a fim de que as funções definidas para o programa sejam atendidas (Xavier, 2001).

A motivação que leva a especificação de uma arquitetura de software é que a mesma fornece uma descrição em alto nível de uma abstração do sistema. Desta forma é possível verificar o quanto antes se os requisitos do sistema foram realmente alcançados.

Existem propostas de diversos modelos de arquitetura de software que podem ser tomados como referência na construção de novas arquiteturas. Segundo o modelo proposto por Kruchten (Kruchten, 1995), o Modelo de Visão 4+1, a arquitetura deve oferecer visões diferenciadas, cada qual destinada aos diferentes interessados no sistema, como mostrado na Figura 1.1.

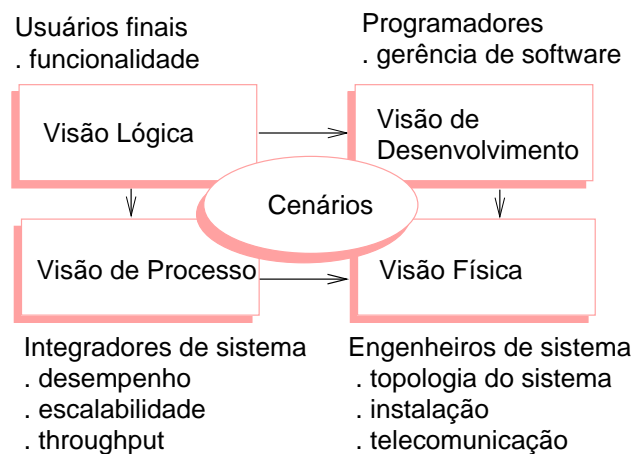


Figura 1.1: Modelo de Visão 4+1 usado para organizar a descrição de arquitetura de software (Kruchten, 1995).

- *Visão Lógica*: descreve o modelos de objetos ou representa diagramas de entidade relacionamento, trazendo uma visão funcional do sistema.
- *Visão de Processo*: descreve aspectos de concorrência e sincronização.
- *Visão Física*: mapeia o software segundo os componentes de *hardware* e reflete seu aspecto de distribuição.
- *Visão de Desenvolvimento*: descreve a organização estática do software em seu ambiente de desenvolvimento.

Os cenários têm o propósito de ilustrar as descrições das decisões tomadas acerca das 4 visões do modelo.

Apesar de parecer um modelo específico dentre muitos, o modelo de Visão 4+1 pode ser considerado como um modelo de arquitetura empregado quando se trata do desenvolvimento de sistemas orientados a objetos, que tem sido o paradigma adotado no desenvolvimento da maioria dos sistemas atuais, devido às características e vantagens que o mesmo traz, como por exemplo, a reutilização.

Por outro lado, a definição de padrões provê a construção de arquiteturas de software específicas com propriedades definidas, o que é um dos principais objetivos da engenharia de software (Notari, 1999).

Os padrões de arquitetura de software têm por objetivo expressar organizadamente a estrutura de sistemas de software. Um padrão fornece um conjunto de subsistemas pré-definidos, especificando suas responsabilidades. Além disso, ele inclui regras e normas para organizar as relações entre eles. Os padrões devem suportar o desenvolvimento, manutenção e evolução de sistemas complexos e em grande escala (Notari, 1999).

1.5.2 Arquitetura Adotada

Neste trabalho a arquitetura de sistemas a ser adotada é a proposta pelos Estados Unidos, brevemente exposta na seção 1.4.2 e mais detalhadamente descrita no capítulo 2. A escolha pela arquitetura americana NIA se deve pela maior disponibilidade de documentação a seu respeito, dando maiores condições de desenvolver aplicações dentro do *framework* proposto.

Ressalta-se que a NIA, arquitetura de sistemas adotada neste trabalho, possui algumas das diferentes visões conforme o *Modelo de Visão 4+1* apresentado na seção 1.5. Assim, a metodologia a ser apresentada propõe sobretudo acrescentar a *Visão de Desenvolvimento*, a qual não está presente na NIA.

1.6 Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida da seguinte maneira: o capítulo 2 traz a descrição da arquitetura de Sistemas Inteligentes de Transporte Norte-Americana, a *National ITS Architecture (NIA)*, adotada como referência neste trabalho. A descrição desta arquitetura é feita desde as etapas que levaram a sua concepção, até a definição de sua estrutura nos níveis lógico e físico. O capítulo 3 descreve a construção de um protótipo, desenvolvido segundo a arquitetura de referência, o qual tem por objetivo implementar um serviço a usuário através dos ITS previstos pela NIA.

A partir da experiência de implementação de um protótipo é feita uma proposta de metodologia para o desenvolvimento de sistemas ITS baseados na estrutura da NIA. A descrição desta proposta é feita no capítulo 4.

Por fim, o capítulo 5 traz as conclusões do trabalho e propõe trabalhos futuros.

Capítulo 2

Uma Arquitetura de Referência para Transportes

2.1 Introdução

Neste capítulo a arquitetura de referência, *National Intelligent Transportation System (ITS) Architecture* (NIA), será apresentada. Inicialmente será descrita sua abordagem conceitual e em seguida sua estrutura e organização, a fim de prover o entendimento a respeito da distribuição e da interoperabilidade dos ITS que a mesma incorpora.

2.2 Abordagem Conceitual da National ITS Architecture

2.2.1 Conceituação Geral

“A arquitetura ITS é um framework de subsistemas interconectados, os quais juntos fornecem serviços ITS a usuários através de funcionalidades e interfaces definidas. Esta arquitetura deve ser aberta e flexível para evitar escolhas por implementações desnecessariamente restritivas e para acomodar a variedade de necessidades dos setores públicos e privados.” (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002c)

A construção da NIA parte do conceito de que, a implementação de um ITS resulta em produtos e serviços. Estes produtos e serviços são comprados por consumidores, através de alguma entidade de negócios (local de venda), para seu uso em benefício próprio (Iteris, 1999).

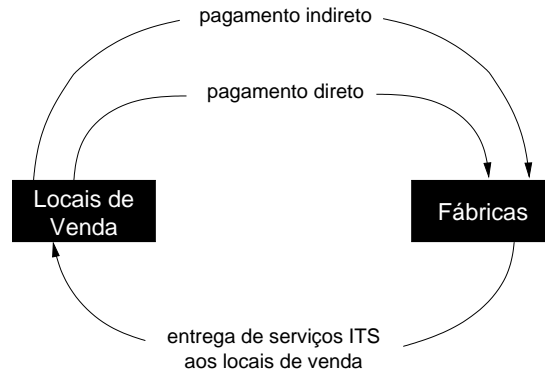


Figura 2.1: O fornecimento de ITS visto sob a perspectiva de um mercado econômico.

Essa visão de *mercado de produtos e serviços* de ITS, evidencia a existência de produtores e consumidores, além da necessidade de entrega desses produtos e serviços envolvendo transações financeiras.

A Figura 2.1 mostra de forma esquemática uma visão da NIA no contexto de um mercado econômico, onde existem fábricas que são as produtoras de serviços ITS, que por sua vez são transportados aos locais de venda. Os consumidores então, podem efetuar o pagamento pelos produtos e serviços desejados de forma direta (por ex.: em dinheiro) ou indireta (por ex.: operadoras de cartão).

Neste contexto de modelo econômico, tem-se que:

- *Produtos e Serviços* representam o que a implementação de ITS fornece a um consumidor (por exemplo, um viajante). Esses serviços são adquiridos individualmente pelos consumidores, mas o seu uso coletivo pode trazer benefícios comuns como, a redução de congestionamentos. Na NIA estes serviços estão dispostos em seis grupos, os quais estão relacionados na Tabela 2.1.
- As *fábricas* são as entidades que produzem ITS, por exemplo: agências públicas ou privadas que fornecem serviços como o fornecimento de informações a respeito das condições de tráfego, escalas de ônibus, entre outros. Estas informações podem ser fornecidas através do pagamento de taxas ou não. Dentro da NIA estas fábricas são representadas por um grupo de subsistemas chamado de *subsistemas centrais*, o qual concentra as funções de gerenciamento dentro da arquitetura. Estes subsistemas são citados e brevemente descritos na seção 2.5.
- Os *locais de venda* identificam onde os ITS estão disponíveis aos seus usuários, isto é,

onde os clientes podem dispor destes serviços. No contexto de transportes, um fornecedor por exemplo, pode necessitar de dispositivos instalados em rodovias para que possa fornecer o serviço de controle de tráfego, ou de dispositivos de consulta, como quiosques, para fornecer informações de viagem a um viajante, e assim por diante. Esses locais de venda no ambiente de transporte é representado na NIA por três grupos de subsistemas: *subsistemas de rede viária*, *subsistemas de veículos*, e *subsistemas de viajantes*. Os subsistemas que compõem estes grupos são citados e sucintamente descritos na seção 2.5.

2.2.2 A Arquitetura NIA

O processo de desenvolvimento da arquitetura NIA, consiste nas seguintes etapas (Figura 2.2) (U.S. Department of Transportation, 2002b):

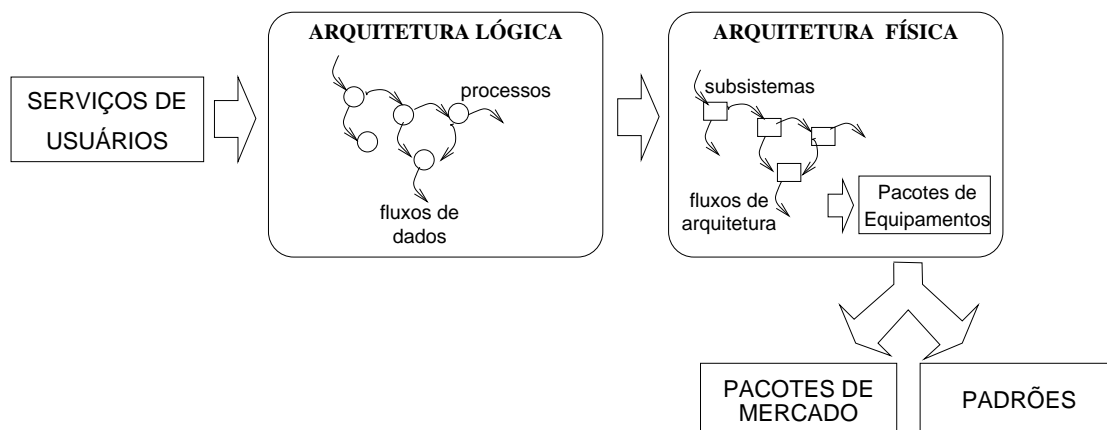


Figura 2.2: Processo de desenvolvimento da NIA.

1. Identificação dos serviços de usuários

Os serviços de usuários representam as necessidades potenciais de produtos fornecidos por ITS sob a perspectiva dos usuários.

2. Identificação de processos

Processos (ou funções) são definidos para atender os serviços de usuários. Esses processos operam de forma cooperativa através da troca de informação entre eles e a representação dessa troca é feita através de Diagramas de Fluxo de Dados (DFDs).

3. Agrupamento de processos

Os processos que satisfazem os serviços de usuários são agrupados, segundo a seme-

lhança de suas funcionalidades, em “blocos de construção” denominados *Pacotes de Equipamentos*. Estes blocos agregam processos pertencentes a um mesmo subsistema.

4. Associação aos locais de venda

Os blocos de construção, definidos na etapa anterior, são então associados aos locais de venda, formando o que é chamado *Pacote de Mercado*. Um pacote de mercado consiste em um conjunto de Pacotes de Equipamentos, os quais precisam trabalhar juntos (geralmente envolvendo diferentes subsistemas) para fornecer um serviço específico.

As duas primeiras etapas desse processo deram origem à Arquitetura Lógica da NIA. Na seqüência a arquitetura lógica é mapeada em subsistemas e pacotes de equipamentos, resultando na construção de pacotes de mercado, definindo assim a Arquitetura Física NIA. A definição da arquitetura física compreende as duas últimas etapas do processo descrito acima. Ainda na Figura 2.2, verifica-se que, além dos pacotes de mercado, todo esse processo tem como resultado a obtenção de padrões, os quais estão associados às interfaces de comunicação entre os componentes da arquitetura (seção 2.5.2).

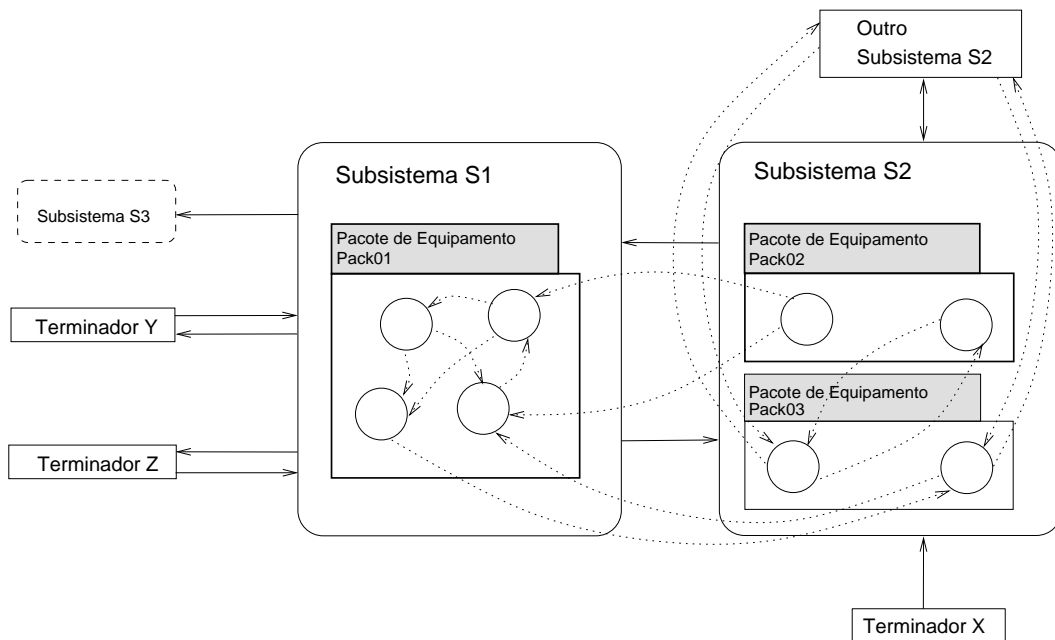


Figura 2.3: Representação esquemática de um pacote de mercado.

Na Figura 2.3 é possível visualizar melhor o resultado deste processo através da representação esquemática de um Pacote de Mercado, explicitando a relação entre elementos definidos pela NIA. Os retângulos com contorno contínuo e bordas arredondadas, representam

subsistemas, nominados neste exemplo como S1 e S2; as caixas dentro dos subsistemas, identificadas por uma etiqueta superior, são os pacotes de equipamentos, neste exemplo nominados PACK01, PACK02 e PACK03, estes pacotes de equipamentos consistem numa coleção de processos, os quais estão representados por círculos. Os retângulos com contorno tracejado e cantos arredondados representam subsistemas que recebem ou fornecem informações do pacote de mercado, porém não fazem parte dele, neste caso comportam-se como os terminadores¹, os quais estão representados pelos retângulos menores em linha contínua.

A troca de informação entre esses elementos é representada pelas setas tracejadas e contínuas. As setas tracejadas representam as trocas de dados que acontecem no nível dos processos, e as setas contínuas representam o que é chamado pela NIA de fluxo de arquitetura, que é uma abstração dos tipos de dados (não em termos computacionais) que são trocados entre subsistemas e terminadores.

Resumidamente, tem-se que, os pacotes de equipamentos consistem em um conjunto de processos agrupados segundo a semelhança de suas funcionalidades, sendo que este agrupamento acontece somente entre processos que pertencem a um mesmo subsistema. A operação conjunta desses pacotes de equipamentos para fornecer um determinado serviço define um pacote de mercado.

Uma característica interessante que pode ser extraída na representação da Figura 2.3 é a existência da troca de informações entre diferentes instâncias de um mesmo subsistema, que é o que ocorre no Subsistema S2 que interage com “Outro Subsistema S2”. Este caso, pode ser imaginado como se S2 fosse, por exemplo, um subsistema de Gerência de Tráfego. A troca de informação entre os dois seria aquela que provê a coordenação da atividade de gerenciamento entre as áreas que cada um deles atende.

Nas seções seguintes deste capítulo serão apresentados os *Serviços de Usuários* identificados pela NIA, as *Arquiteturas Lógica e Física*, os *Pacotes de Mercado* e os meios de comunicação previstos para troca de informações entre os subsistemas definidos na arquitetura física.

2.3 Serviços de Usuários

Os serviços de usuários referem-se aos serviços que um ITS deve oferecer segundo a perspectiva de seus usuários. São considerados usuários todas as pessoas que interagem com a

¹Entidades não definidas pela NIA, mas que interagem com os elementos definidos pela arquitetura, ver detalhes na seção 2.5.

arquitetura. Essas pessoas podem ser, tanto viajantes em busca de informações de mobilidade, como operadores ITS, os quais utilizam informações na dinâmica de suas operações, ou na melhoria dos serviços oferecidos (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002d).

Esses serviços, relacionados aos seus requisitos de implementação, compõem a base de construção da NIA. Partindo da definição dos serviços potenciais a serem oferecidos aos usuários, torna-se possível estabelecer uma abstração de alto nível a respeito de serviços direcionados a problemas e necessidades específicas. A lista de serviços de usuários obtida não é definitiva, podendo ser sempre atualizada e acrescida de novos serviços (U.S. Department of Transportation, 2002a).

Os serviços de usuário são agrupados, segundo seus objetivos em comum, em 8 categorias chamadas de *Pacotes de Serviços de Usuários*, como mostrado na Tabela 2.1.

Uma descrição geral desses grupos de serviços pode ser encontrada em (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002a), e os detalhes a respeito de cada um dos serviços de usuários em (U.S. Department of Transportation, 2002a).

Os processos necessários para disponibilizar esses serviços de usuários constituem a parte lógica da arquitetura, a qual será discutida na próxima seção (seção 2.4).

2.4 Arquitetura Lógica

A arquitetura lógica apresenta uma visão sob o aspecto dos fluxos de informações necessários no fornecimento dos serviços de usuários, isto é representado na forma de processos e do fluxo de informações que há entre esses processos. A descrição de cada um desses processos traz consigo as características que devem estar presentes no fornecimento dos serviços de usuários.

Utilizando a notação de Diagrama de Fluxo de Dados (DFD), esses processos são inicialmente descritos em um alto nível de abstração e passam por sucessivas decomposições funcionais (refinamentos) até alcançar o menor nível de abstração possível (Pressman, 1992), onde se encontram os processos mais elementares. Neste nível mais inferior de abstração são feitas as *Especificações de Processo* (chamadas pela NIA de *PSpecs*). Essas especificações de processos podem ser feitas utilizando a representação de autômatos, fluxogramas, pseudolinguagem, entre outras, no caso da NIA essas especificações são feitas através de uma descrição textual. A especificação de um processo inclui, uma visão geral do seu contexto, o conjunto de requisitos funcionais que ele atende e os conjuntos de entrada e saída de dados a ele relacionados.

Pacotes de Serviços de Usuários	Serviços de Usuários
Gerência de Transportes e Viagens	<ul style="list-style-type: none"> • Informações Prévias de Viagem • Informação para Motoristas em Rota • Orientação de Rotas • Combinação de Transportes e Reservas • Serviços de Informação aos Viajantes • Controle de Tráfego • Gerência de Incidentes • Gerência de Demanda de Viagens • Teste de Emissões • Interseções com Trilhos e Auto-Estradas
Operação de Transportes Públicos	<ul style="list-style-type: none"> • Gerência de Transporte Público • Informação de Ônibus em Trânsito • Transporte Público Personalizado • Segurança de Viagens em Transportes Públicos
Pagamento Eletrônico	<ul style="list-style-type: none"> • Serviços de Pagamento Eletrônico
Operação de Veículos Comerciais	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreamento Eletrônico de Veículos Comerciais • Inspeção de Segurança de Rodovias Automatizadas • Monitoração de Segurança <i>On-Board</i> • Administração de Veículos Comerciais • Respostas a Incidentes com Materiais Perigosos • Gerência de Frota Comercial
Gerência de Emergências	<ul style="list-style-type: none"> • Notificação de Emergência e Segurança Pessoal • Gerência de Veículos de Emergência
Controle Avançado de Veículos e Sistemas de Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenção de Colisão Longitudinal • Prevenção de Colisão Lateral • Aumento de Visibilidade para Prevenção de Acidentes • Acionamento de Serviços de Segurança em Prontidão • Retenção Pré-acidente • Operação de Veículo Automatizado
Gerência de Informação	<ul style="list-style-type: none"> • Função de Armazenamento de Dados
Gerência de Construção e Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Operações de Manutenção e Construção

Tabela 2.1: Serviços a Usuários ITS (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002a).

Relembrando a notação utilizada por um DFD, os círculos representam os processos, os quais podem ser subdivididos sucessivas vezes em outros processos, apresentando mais detalhes nos diagramas subsequentes dos níveis de abstração inferiores (Figura 2.4). Os retângulos representam entidades externas, ou terminadores. As linhas que fazem a ligação entre os processos, ou entre entidades externas e processos (terminadores e processos) representam os fluxos de dados. As descrições dos processos (especificação dos processos) e dos fluxos de dados (dicionário de dados) são encontradas no extenso documento de Arquitetura Lógica (compreendido em 3 volumes) (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002b).

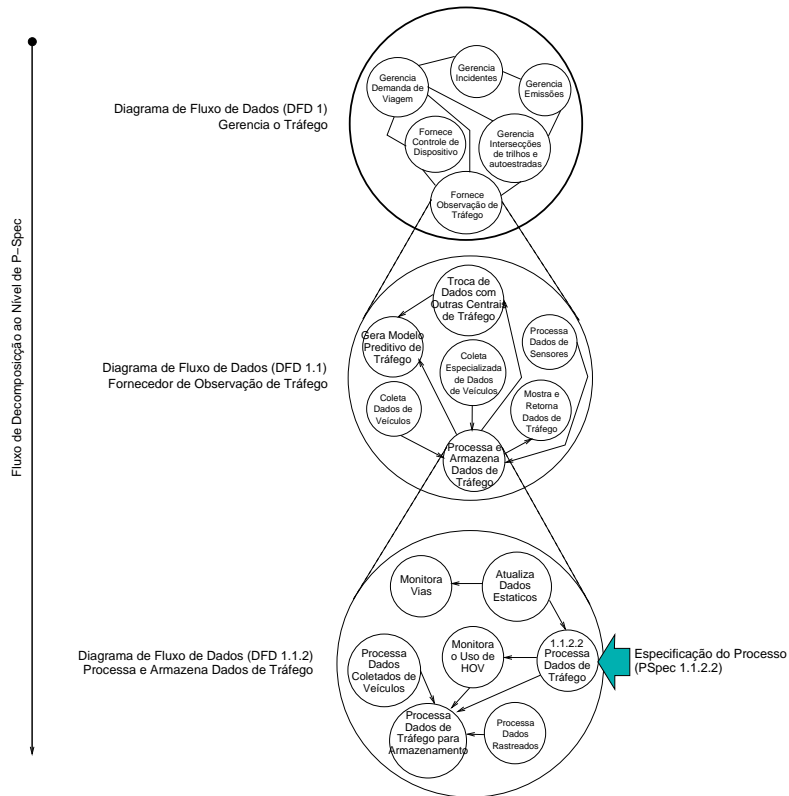


Figura 2.4: Exemplo da decomposição funcional da Arquitetura Lógica (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002e).

Uma visão simplificada do nível de mais alta abstração dos processos que implementam os serviços de usuários é representada na Figura 2.5.

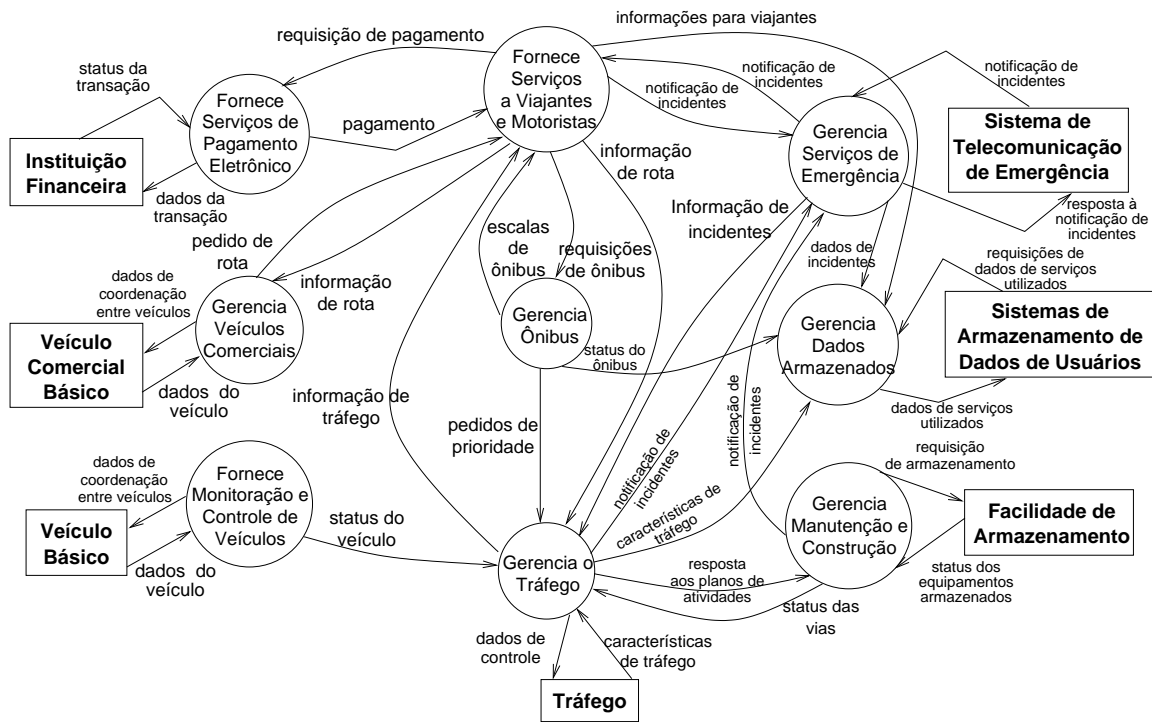


Figura 2.5: DFD de alto nível da Arquitetura Lógica simplificado (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002a).

A Figura 2.5 não tem por objetivo refletir um mapeamento direto entre os processos nela representados e os grupos de serviços citados na Tabela 2.1, pois cada um desses macro-processos podem atender a serviços contidos em diferentes pacotes de serviços de usuários.

A descrição dos processos representados na Figura 2.5, sem entrar em detalhes em relação ao fluxo de informações existente entre eles pode ser encontrada no Apêndice A. Nesta descrição os serviços de usuários listados na Tabela 2.1 são relacionados aos processos que os implementam.

2.5 Arquitetura Física

Como descrito na seção 2.2, os processos definidos na Arquitetura Lógica são agrupados de acordo com suas similaridades funcionais, resultando assim na definição de subsistemas. A partir da agregação desses processos em subsistemas, chega-se ao mapeamento que define a Arquitetura Física da NIA.

Esses subsistemas são componentes elementares da Arquitetura Física, os quais definem de maneira geral a estrutura de toda a arquitetura.

2.5.1 Subsistemas e Terminadores da Arquitetura ITS

Antes de entrar nos detalhes da estrutura da Arquitetura Física serão apresentadas as entidades externas que definem os limites da arquitetura realizando a interação com os subsistemas ITS que a compõem. Essas entidades externas são denominadas *Terminadores*, e estão agrupadas em 4 classes (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002d). A interação/comunicação entre os grupos de terminadores e subsistemas da NIA são representados na Figura 2.6.

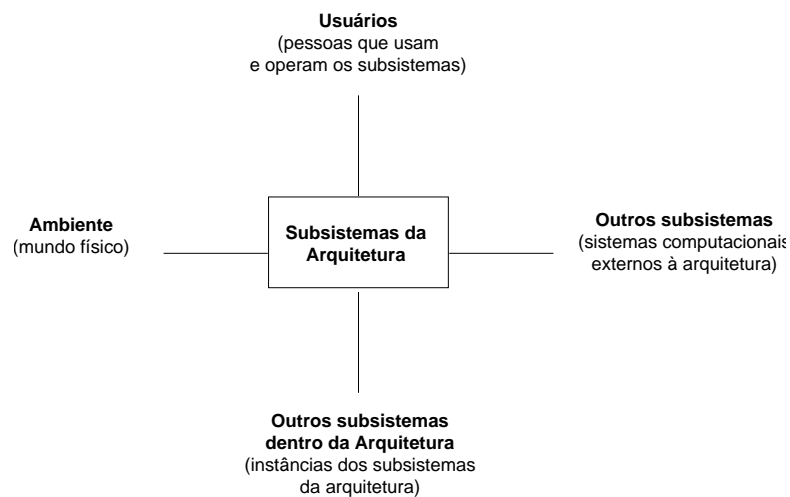


Figura 2.6: Uma visão simplificada estrutural da arquitetura (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002d).

- **Usuários:** representam qualquer pessoa que interaja com a arquitetura como definido na seção 2.3. Nesta classe estão incluídos administrador de dados armazenados, motorista de veículo comercial, inspetor de veículos comerciais, motorista (de qualquer tipo de

veículo: automóvel particular, veículos comerciais, ônibus), pessoal da emergência (pessoas responsáveis por emergências: médicos, bombeiros, policiais), operador de sistemas de emergência, operador de gerência de emissões, gerente de frete e frota, operador de provedor de serviços de informação, pessoal de central de manutenção e construção, pessoal de campo de manutenção e construção, operador de estacionamento, pedestres, administrador de pedágio, operador de pedágio, pessoal de operação de tráfego, operadores de sistema de ônibus, operador de ônibus e viajante (representando qualquer usuário dos serviços de transporte).

- **Sistemas:** aqui estão sistemas das agências e organizações (públicas ou privadas) que interagem através de interfaces de computador com os ITS definidos pela NIA. Nesta classe estão incluídos: sistemas de consultas e alertas, sistemas de dados arquivados dos usuários, gerência de recursos (sistemas que suportam tomadas de decisão para manutenção, atualizações e operação de recursos físicos de transporte), veículo comercial básico, veículo básico de manutenção e construção, ônibus básico, veículo básico, facilidade de assistência (representa facilidades de acesso a hospitais ou outros serviços de emergência), requisitor de informação de operação de veículo comercial, departamento de veículos motorizados, sistema de telecomunicações de emergência, agência de infrações (representa sistemas que recebem relatórios de violações como, de velocidade, emissões, não pagamento de pedágios), facilidade de reparo de equipamento, promotores de eventos, instituição financeira, equipamento de frete, sistemas de relato ao governo, depósito de frete intermodal, transportador de frete intermodal, localização de origem de dados, sistemas administrativos de manutenção e construção, provedor de atualização de mapas, mídia, cruzamentos multi-modais, provedor de serviços de transporte multi-modal, outras origens de dados, operações de trilhos, provedores de abrigos, facilidade de armazenamento (relacionada ao armazenamento de equipamentos e materiais utilizados em manutenções e construções), serviço meteorológico da superfície de transporte, sistema de telecomunicação para informação do viajante, agências regulamentadoras de comércio, cartão do viajante, equipamentos de rodovias (relacionados aos equipamentos de rodovias que cruzam com trilhos), serviço de meteorologia e provedores de serviço de páginas amarelas.
- **Ambiente:** esta classe representa o mundo físico dentro do ambiente de transporte. Nesta classe estão incluídos: ambiente (meio natural onde os ITS operam), obstáculos potenciais, ambiente viário (representa a geometria da rede viária), ambiente de área segura (área monitorada por observação ou por sensores), tráfego e características do veículo.
- **Outros Subsistemas Dentro da Arquitetura:** esta entidade representa a multiplicidade

das instâncias dos subsistemas definidos pela arquitetura. Nesta classe estão incluídos: outros arquivos, outro sistema de administração de veículos comerciais, outra gerência de emergência, outro provedor de serviço de informação, outra gerência de manutenção e construção, outra gerência de veículos de manutenção e construção, outra gerência de estacionamento, outra rodovia, outra administração de pedágio, outra gerência de tráfego, outra gerência de ônibus, e outro veículo.

São definidos pela Arquitetura Física 21 subsistemas, os quais estão concentrados em 4 categorias: Subsistemas Centrais, Subsistemas de Viajantes, Subsistemas da Rede Viária e Subsistemas de Veículos (Figura 2.7). A estrutura da arquitetura física apresentada na Figura 2.7 não traz em sua representação os terminadores que possuem interface com os subsistemas. Contudo, juntamente com a descrição textual dos subsistemas que será feita a seguir serão explicitados os terminadores que interagem com cada um deles. Depois disso, na Tabela 2.2 são relacionados os serviços de usuários associados aos subsistemas.

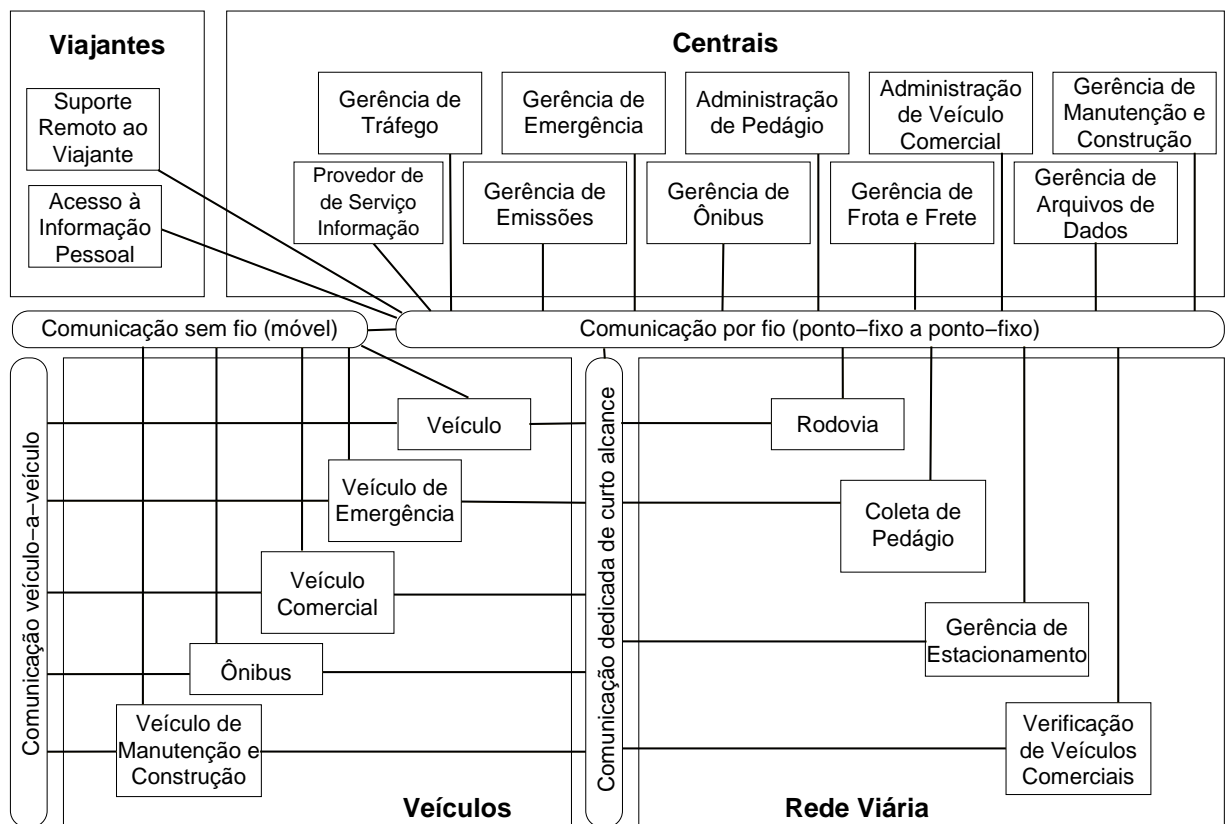


Figura 2.7: Diagrama da Arquitetura Física (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002d).

Subsistemas Centrais : são responsáveis por gerenciar, administrar e apoiar funções do sistema de transporte. Os subsistemas compreendidos nessa classe comunicam-se uns com os outros a fim de coordenar suas atividades. Além disso, comunicam-se também com subsistemas de Rede Viária e de Veículos com o objetivo de coletar e fornecer informações e controle, as quais são coordenadas por subsistemas centrais. Essa comunicação é representada na Figura 2.7 pelos bastões situados entre as categorias de subsistemas. Os subsistemas compreendidos nessa classe são:

- Subsistema de Gerência de Arquivos de Dados (*ADMS - Archived Data Management Subsystem*): este subsistema coleta, arquiva, gerencia e distribui os dados gerados pelos sistemas ITS para o uso na administração de transportes, avaliação, segurança, planejamento, monitoração de desempenho, entre outras atividades que buscam a melhoria na disponibilização de serviços. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: outros arquivos, sistemas de dados de usuários arquivados, serviço de meteorologia, serviço meteorológico da superfície de transporte, provedor de serviços de transporte multi-modal, depósito de frete intermodal, outras origens de dados, gerência de recurso, instituição financeira, provedor de atualização de mapa, sistemas de relato ao governo e administrador de dados armazenados.
- Administração de Veículo Comercial (*CVAS - Commercial Vehicle Administration Subsystem*): opera em um ou mais pontos fixos dentro de uma região. Seu objetivo é realizar funções administrativas de apoio ao credenciamento, cobrança de taxas e regulamentos de segurança. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: requisitante de informação de operação de veículo comercial, provedor de atualização de mapa, outro sistema de administração de veículos comerciais, transportador de frete intermodal, agências regulamentadoras de comércio, agência de infrações e instituição financeira.
- Gerência de Emergência (*EMS - Emergency Management Subsystem*): representa a segurança pública e outros sistemas de agências aliadas que apoiam a gerência coordenada de incidentes de tráfego e respostas a emergências. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: serviço de meteorologia, outra gerência de emergência, operações de trilhos, sistemas de alerta e aviso, mídia, provedores de abrigos, serviço meteorológico da superfície de transporte, provedor de atualização de mapa, pessoal da emergência, facilidade de assistência, sistema de telecomunicações de emergência, operador do sistema de emergência e promotores de eventos.
- Gerência de Emissões (*EMMS - Emissions Management Subsystem*): este subsis-

tema opera em um ponto fixo e pode co-residir com um Subsistema de Gerência de Tráfego ou operar em um ponto próprio, dando condições para monitorar e gerenciar as condições de qualidade do ar. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: serviço de meteorologia, agência de infrações, mídia, provedor de atualização de mapa, operador de gerência de emissões e departamento de veículos motorizados.

- Gerência de Frota e Frete (*FMS - Fleet and Freight Management Subsystem*): fornece para motoristas comerciais e despachantes, informações sobre rotas em tempo real e o acesso à base de dados que contém as localizações de veículos e cargas. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: transportador de frete intermodal, gerente de frete e frota, depósito de frete intermodal, equipamento de frete, provedor de atualização de mapa, sistemas de alerta e aviso.
- Provedor de Serviço de Informação (*ISP - Information Service Provider*): este subsistema coleta, processa, armazena e dissemina informações de transportes para os operadores de sistemas e viajantes. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: facilidade de assistência, serviço de meteorologia, outro provedor de serviço de informação, provedores de serviço de páginas amarelas, sistema de telecomunicação para informação do viajante, mídia, provedores de abrigos, serviço meteorológico da superfície de transporte, provedor de serviços de transporte multi-modal, provedor de atualização de mapa, promotores de eventos, operador de fornecimento de serviços de informação e instituição financeira.
- Gerência de Manutenção e Construção (*MCMS - Maintenance and Construction Management Subsystem*): monitora e gerencia a construção e atividades de manutenção da infraestrutura das rodovias. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: sistemas de alerta e aviso, agência de infrações, mídia, provedor de serviços de transporte multi-modal, outra gerência de manutenção e construção, serviço meteorológico da superfície de transporte, operações de trilhos, gerência de recurso, serviço de meteorologia, facilidade de armazenamento, facilidade de reparo de equipamento, provedor de atualização de mapa, pessoal da central de manutenção e construção e sistemas administrativos de manutenção e construção.
- Administração de Pedágio (*TAS - Toll Administration Subsystem*): fornece a capacidade de administração geral de pagamentos, dando suporte às transferências e autenticação de fundos de um cliente ao operador do sistema de transporte. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: agência de infrações, administrador de pedágio, outra administração de pedágio, departamento

de veículos motorizados e instituição financeira.

- Gerência de Tráfego (*TMS - Traffic Management Subsystem*): opera dentro de um centro de gerência de tráfego ou em outros pontos fixos, comunicando-se com subsistemas de Estrutura Viária para realizar a função de monitorar e gerenciar o fluxo de tráfego. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: sistemas de alerta e aviso, cruzamentos multi-modais, agência de infrações, serviço meteorológico da superfície de transporte, outra gerência de tráfego, serviço de meteorologia, pessoal de operação de tráfego, mídia, operações de trilhos, provedor de atualização de mapa, depósito de frete intermodal, departamento de veículos motorizados e promotores de eventos.
- Gerência de Ônibus (*TRMS - Transit Management Subsystem*): gerencia as frotas de ônibus e coordena os outros modos de serviços de transporte. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: sistemas de alerta e aviso, serviço de meteorologia, agência de infrações, outra gerência de ônibus, mídia, operador de ônibus, serviço meteorológico da superfície de transporte, provedor de serviços de transporte multi-modal, operadores do sistema de ônibus, provedor de atualização de mapa e instituição financeira.

Subsistemas de Viajantes : atendem aos viajantes, que representam os usuários de ITS, em relação às suas necessidades de mobilidade. O subsistemas que compõem esta classe são:

- Acesso à Informação Pessoal (*PIAS - Personal Information Access Subsystem*): este subsistema torna possível aos viajantes receber informações de tráfego formatadas a partir de suas casas, locais de trabalho, *websites* geradores de percursos de viagem, dispositivos pessoais portáteis e outros tipos de mídia eletrônica. Isto possibilita a disponibilização de informações básicas para percursos de viagem, permitindo aos usuários escolher o meio de transporte mais adequado para o seu deslocamento, evitando trechos de congestionamento. Podem ser disponibilizados ainda serviços com funções mais avançadas nas quais o usuário especifica parâmetros que atendam às suas necessidades pessoais e as informações de viagem recebidas estejam de acordo com as restrições definidas por estes parâmetros. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: localização de origem de dados, cartão do viajante, viajante e provedor de atualização de mapa.
- Suporte Remoto ao Viajante (*RTS - Remote Traveler Support*): através deste subsistema é possível que o usuário tenha acesso às informações sobre estações de ônibus e seus pontos de parada, pontos comerciais ao longo do seu percurso,

centros de eventos, hotéis, teatros, etc. Também é possível obter informações sobre as condições de tráfego e ainda outras que, o capacitem na tomada de decisão sobre as rotas de viagem. Os pontos de acesso a essas informações incluem, quiosques e visores de informações que suportam uma variedade de níveis de interação e de acesso às informações. Além de consumir informações, os viajantes podem também fornecer, através desse subsistema, notificações sobre incidentes e situações de emergência. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: ambiente de área segura, cartão do viajante, viajante e provedor de atualização de mapa.

Subsistemas de Rede Viária : nesta classe de subsistemas são fornecidas interfaces diretas com a rede viária, veículos e viajantes. Cada subsistema aqui compreendido inclui funções que permitem o acesso à observação das situações das rodovias, provisão de informações e à execução de planos de controle. Dentre os subsistemas que compõem esta classe estão:

- Verificação de Veículos Comerciais (*CVCS - Commercial Vehicle Check Subsystem*): dá suporte à identificação automatizada de veículos para inspeções de velocidade, segurança e peso de carga. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: equipamento de frete, agência de infrações, veículo comercial básico, motorista de veículo comercial, e inspetor de veículos comerciais.
- Gerência de Estacionamento (*PMS - Parking Management Subsystem*): fornece a monitoração e gerência eletrônica para prover facilidades no pagamento e reserva de vagas de estacionamento. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: características do veículo, agência de infrações, motorista, operador de estacionamento, cartão do viajante, outra gerência de estacionamento, departamento de veículos motorizados e instituição financeira.
- Rodovia (*RS - Roadway Subsystem*): este subsistema inclui a distribuição de equipamentos instalados nas vias, os quais monitoram e controlam o tráfego, e monitoram e gerenciam as vias. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: ambiente viário, características do veículo, tráfego, ambiente, motorista, veículo básico, equipamento de rodovias, agência de infrações, serviço de meteorologia, outra rodovia, pedestres, serviço meteorológico da superfície de transporte, cruzamentos multi-modais e pessoal de campo de manutenção e construção.
- Coleta de Pedágio (*TCS - Toll Collection Subsystem*): fornece a possibilidade de um operador de veículos pagar pedágios sem que este precise pará-los. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: características do veículo, motorista e operador de pedágio.

Subsistemas de Veículos : os subsistemas que fazem parte dessa categoria compartilham informações gerais de motoristas, navegação de veículos e funções avançadas de sistemas de segurança. O subsistemas relacionados a esta classe são:

- Veículo Comercial (*CVS - Commercial Vehicle Subsystem*): esse subsistema reside em veículos comerciais (qualquer veículo que transporte mercadorias como: caminhões e veículos utilitários) e fornece funções de sensores, processamento, armazenamento e comunicação, necessárias para suportar as operações de veículos comerciais considerando segurança e eficiência. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: equipamento de frete, transportador de frete intermodal, motorista de veículo comercial e veículo comercial básico.
- Veículo de Emergência (*EVS - Emergency Vehicle Subsystem*): esse subsistema reside em veículos de emergência (veículos utilizados por serviços de emergências como, serviços médicos, bombeiros e policiais) e fornece funções de sensores, processamento, armazenamento e comunicação, necessárias para suportar as operações de respostas a incidentes de forma segura e eficiente. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: ambiente viário, facilidade de assistência e pessoal da emergência.
- Veículo de Manutenção e Construção (*MCVS - Maintenance and Construction Vehicle Subsystem*): esse subsistema reside em veículos ou equipamentos destinados à construção, manutenção, ou outros serviços especializados, fornecendo funções de sensores, processamento, armazenamento e comunicação, necessárias para apoiar as atividades de construção e manutenção de alto-estradas. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: ambiente viário, tráfego, motorista, facilidade de reparo de equipamento, pessoal de campo de manutenção e construção, outra gerência de veículos de manutenção e construção e veículo básico de manutenção e construção.
- Ônibus (*TVS - Transit Vehicle Subsystem*): esse subsistema é instalado em ônibus (destinado ao atendimento de transporte público dentro do perímetro urbano) e fornece funções de sensores, processamento, armazenamento e comunicação, necessárias para oferecer o transporte de passageiros seguro e eficiente. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: ambiente viário, ambiente de área segura, cartão do viajante, viajante, ônibus básico e operador de ônibus.
- Veículo (*VS - Vehicle Subsystem*): esse subsistema reside em veículos em geral, incluindo automóveis pessoais, veículos comerciais, veículos de emergência, ônibus e outros tipos de veículos, fornecendo funções de sensores, processamento, armazenamento e comunicação, necessárias para dar suporte a uma viagem conveniente,

segura e eficiente. Os terminadores que possuem interface com este subsistema são: ambiente viário, obstáculos potenciais, localização de origem de dados, motorista, cartão do viajante, provedor de atualização de mapa, veículo básico e outro veículo.

A Tabela 2.2 a seguir relaciona os serviços de usuários associados a cada um dos subsistemas.

Subsistemas	RTS	PIAS	TMS	ISP	EMS	EMMS	TAS	TRMS	CVAS	FMS	MCMS	ADMS	RS
Informações prévias de viagem	x	x		x									
Informação para motoristas em rota			x	x									x
Orientação de rotas		x		x				x					
Combinação de transportes e reservas	x	x		x					x				
Serviços de informação aos viajantes	x	x		x									
Controle de tráfego			x		x	x							x
Gerência de incidentes			x	x									x
Gerência de demanda de viagens			x	x			x	x					x
Teste de emissões						x							x
Interseções com trilhos e auto-estradas			x										x
Gerência de transporte público				x				x					
Informação de ônibus em trânsito	x			x				x					
Transporte público personalizado	x	x	x	x				x					
Segurança de viagens em transportes públicos	x			x	x			x					
Serviços de pagamento eletrônico	x	x	x	x			x	x					
Rastreamento eletrônico de veículos comerciais				x									
Inspeção de segurança de rodovias automatizadas									x				
Monitoração de segurança <i>on-board</i>					x								
Administração de veículos comerciais									x				
Respostas a incidentes com materiais perigosos					x								
Gerência de frota comercial					x					x			
Notificação de emergência e segurança pessoal		x			x								
Gerência de veículos de emergência				x	x								
Prevenção de colisão longitudinal													
Prevenção de colisão lateral													
Aumento de visibilidade para prevenção de acidentes													
Acionamento de serviços de segurança em prontidão													
Retenção pré-acidente													
Operação de veículo automatizado			x										x
Função de armazenamento de dados			x	x	x	x	x	x				x	x
Operações de Manutenção e construção			x	x	x			x			x		x

continuação na próxima página

Subsistemas	TCS	PMS	CVCS	VS	EVS	CVS	TRVS	MCVS
	Informações prévias de viagem		×					
Informação para motoristas em rota				×				
Orientação de rotas				×				
Combinação de transportes e reservas								
Serviços de informação aos viajantes		×						
Controle de tráfego				×				
Gerência de incidentes								
Gerência de demanda de viagens	×	×						
Teste de emissões								
Interseções com trilhos e auto-estradas								
Gerência de transporte público								
Informação de ônibus em trânsito				×				
Transporte público personalizado								
Segurança de viagens em transportes públicos								
Serviços de pagamento eletrônico	×			×				
Rastreamento eletrônico de veículos comerciais			×					
Inspeção de segurança de rodovias automatizadas			×				×	
Monitoração de segurança <i>on-board</i>			×				×	
Administração de veículos comerciais							×	
Respostas a incidentes com materiais perigosos			×					
Gerência de frota comercial						×	×	
Notificação de emergência e segurança pessoal				×				
Gerência de veículos de emergência					×			
Prevenção de colisão longitudinal				×				
Prevenção de colisão lateral				×				
Aumento de visibilidade para prevenção de acidentes				×				
Acionamento de serviços de segurança em prontidão				×			×	
Retenção pré-acidente				×				
Operação de veículo automatizado				×				
Função de armazenamento de dados		×					×	
Operações de Manutenção e construção				×	×			×

continuação da página anterior

Tabela 2.2: Subsistemas da NIA associados aos Serviços de Usuários.

Os subsistemas são apresentados como uma entidade única na Figura 2.7, no entanto eles são representações de instâncias múltiplas de cada subsistema. Por exemplo: uma região pode ter vários subsistemas de Gerência de Tráfego, os quais podem comunicar-se uns com os outros.

A troca de informações entre os subsistemas é denominada pela NIA como *Fluxo de Arquitetura*, representando a interconexão entre esses subsistemas. Um fluxo de arquitetura nada mais é do que a representação dos fluxos de dados entre os processos da *Arquitetura Lógica*, os quais implementam os subsistemas definidos na *Arquitetura Física*, em um nível mais alto de abstração.

A Figura 2.8 exemplifica essa interconexão entre subsistemas, onde o fluxo de dados *dados de tráfego para distribuição*, que parte de um processo pertencente ao subsistema de Gerência de Tráfego com destino a outro processo que pertence ao subsistema Provedor de Serviço de Informação. No entanto, esse fluxo de dados é parte do fluxo de arquitetura *condições da rede de tráfego* que ocorre entre esses subsistemas. Este fluxo de arquitetura agrega além dos “dados de tráfego para distribuição” outras informações como, dados de sensores para distribuição, dados preditivos, eventos planejados, dados de interseções para orientação, estado corrente da rede de tráfego, estado corrente da rede de auto-estradas.

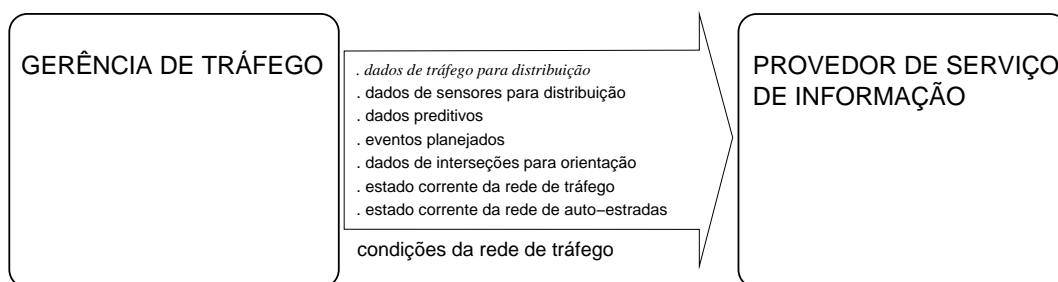


Figura 2.8: Interconexão de subsistemas através de fluxos de arquitetura.

A comunicação entre os grupos de subsistemas ocorrem em diferentes modalidades, as quais são rapidamente descritas na subseção 2.5.2 a seguir.

2.5.2 Comunicação Entre os Elementos da Arquitetura Física

Cada troca de informação que ocorre entre subsistemas requer um meio de comunicação específico. Os tipos de interconexão previstos pela NIA estão representados na Figura 2.7 por retângulos com cantos arredondados. São eles:

- Elementos de Comunicação por Fio

Os meios físicos de comunicação previstos são: fibra ótica, cabo coaxial ou par trançado. Nesta modalidade de interconexão surge o NTCIP - *National Transportation Communication for ITS Protocol* (National Electrical Manufacturers Association, 1998), que é um protocolo em padronização para redes que utilizam meios físicos de comunicação, com aplicação específica aos ITS.

Este protocolo define métodos comuns de interconexão física entre equipamentos para controle de ITS, estabelece protocolos e procedimentos para a comunicação entre equipamentos e define procedimentos para desenvolver e registrar conjuntos comuns de objetos gerenciáveis, relacionados ao controle e gerenciamento de componentes.

O NTCIP suporta os seguintes requisitos de ITS:

- suporte a serviços orientados ou não à conexão;
- mecanismos para confirmação ou não de transferência de dados;
- um algoritmo esquemático de detecção de erros que assegura uma probabilidade extremamente pequena na aceitação de quadros ruins²;
- uma abordagem estruturada que suporta a independência de mídias de transmissão e taxa de dados;
- um esquema de endereçamento extensível para cobrir requisitos futuros.

- Elementos de Comunicação sem Fio

Uma característica chave da maioria das comunicações sem fio é a possibilidade de estarem interligadas a um sistema de comunicação por fio. Assim, as unidades móveis podem trocar mensagens ITS com subsistemas centrais e de estrutura viária.

As opções de comunicação sem fio envolvem: sistemas *one-way*, (*broadcast*) e *two-way*, sistemas de comutação e celular, troca de dados por pacote e circuito, sistemas baseados em telefonia celular (CDPD, AMPS, TDMA, CDMA), telefonia satelital e sistemas baseados na telefonia convencional.

- Comunicação Dedicada de Curto Alcance

Este canal de comunicação representa a interconexão entre veículos e equipamentos instalados nas rodovias.

- Comunicação Veículo-a-Veículo

Este canal de comunicação representa a interconexão direta entre veículos adjacentes.

²Um quadro corresponde a um conjunto de bytes. Esses quadros contém pacotes que transportam as mensagens que se deseja transmitir. Durante a transmissão desses quadros problemas como atenuação, reflexão, ruídos, ou colisões podem ocorrer, ocasionados por interferências que o meio físico de transmissão pode sofrer. Um quadro ruim trata-se portanto, de um quadro que teve sua integridade afetada durante a sua transmissão em decorrência de algum desses problemas citados.

2.6 Pacotes de Mercado

Os pacotes de mercado correspondem às partes da arquitetura que são necessárias para implementar os serviços de usuários e são destinados a resolver os seguintes tipos de problemas: congestionamento de tráfego, falta de mobilidade e acessibilidade, modos de transporte desconectados, restrições drásticas de orçamento, direcionamento de transportes de emergência, acidentes de tráfego e fatalidades, poluição do ar, atraso no transporte de mercadorias, necessidades de transporte não previstas e falta de informação de transporte.

Dentre os objetivos comuns a todos os pacotes de mercado estão o aumento da eficiência do sistema de transporte, aumento da segurança, redução do consumo de combustível e conseqüências ambientais, priorização da mobilidade, aumentar a produtividade econômica e criação de um ambiente para um mercado de ITS. No volume de *Market Packages* (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f) da NIA, os pacotes de mercados são classificados segundo o grau do cumprimento desses objetivos em pacotes que satisfazem: precariamente, quase todos os aspectos ou completamente esses objetivos.

A definição desses pacotes de mercado traz um alto grau de flexibilidade para as possíveis implementações de serviços ITS, provendo uma distribuição de serviços que podem ser oferecidos em combinação ou separadamente (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).

Esses pacotes de mercado são agrupados segundo seus propósitos específicos, no que tange a solução de problemas de tráfego através da provisão de serviços de usuários.

Cada pacote de mercado pertencente a um grupo é identificado por uma abreviatura, que identifica o grupo a que pertence, seguido de um índice numérico (por exemplo: ATMS01, pacote pertencente ao grupo de pacotes de Sistemas de Gerência Avançada de Transportes, do inglês, *Advanced Transportation Management Systems*). Os acrônimos usados pelos grupos de pacotes de mercado são:

ATMS - *Advanced Transportation Management Systems*

APTS - *Advanced Public Transportation Systems*

ATIS - *Advanced Traveler Information Systems*

AVSS - *Advanced Vehicle Safety Systems*

CVO - *Commercial Vehicle Operations*

EM - *Emergency Management*

AD - *Archived Data*

MCO - *Maintenance and Construction Management*

A seguir é feita uma breve descrição dessas classes de pacotes de mercado:

- **Sistemas de Gerência Avançada de Transportes (ATMS)**

Os pacotes de mercado ATMS permitem uma grande variedade de opções de desenvolvimento possíveis de ITS voltados às atividades de gerência de transportes, preservando a interoperabilidade através dos padrões de comunicação identificados. Esta abordagem permite aos implementadores adaptarem seus projetos às necessidades locais. Este grupo compreende um total de 20 pacotes de mercado, dentre os quais estão: observação de tráfego (ATMS01), controle de tráfego regional (ATMS07), coleta eletrônica de pedágio (ATMS10), gerência e monitoração de emissões (ATMS11), monitoração de velocidade (ATMS19), etc.
- **Sistemas de Informação Avançada de Transportes Públicos (APTS)**

Neste grupo os pacotes de mercado têm como objetivo central atender: 1) os viajantes que fazem uso dos veículos de transporte coletivo (ônibus), fornecendo informações que os permitam planejar seus percursos de viagem, e 2) os planejadores urbanos, fornecendo informações que os permitam planejar o atendimento adequado à demanda dos serviços de transportes públicos. Alguns dos pacotes de mercado que fazem parte deste grupo são: operações de resposta à demanda de ônibus (APTS3), coordenação multi-modal (APTS7), informações de transportes públicos aos viajantes (APTS8), etc.
- **Sistemas de Informação Avançada ao Viajante (ATIS)**

Neste grupo estão concentrados pacotes de mercado que suportem as mais variadas formas possíveis de se fornecer informações aos viajantes. Neste grupo estão relacionados 9 pacotes de mercado e alguns deles são: disseminação de informação ao viajante (ATIS1), informação interativa ao viajante (ATIS2), orientação dinâmica de rotas (ATIS4), etc.
- **Sistemas Avançados de Segurança de Veículos (AVSS)**

Neste grupo encontram-se os pacotes de mercado que têm como objetivo central a provisão de serviços que aumentem a segurança nos trajetos de viagem no sentido de prevenir a ocorrência de acidentes. Entre os 11 pacotes de mercado deste grupo estão: monitoração de segurança do veículo (AVSS01), monitoração de segurança do motorista (AVSS02), aumento de visibilidade do motorista (AVSS07), aviso preventivo de colisão em intersecções (AVSS10), etc.
- **Operação de Veículos Comerciais (CVO)**

Este grupo reúne pacotes de mercado que têm por finalidade prover a coordenação entre agências públicas e privadas no transporte de mercadorias e serviços de fretagem. Entre os 10 pacotes de mercado deste grupo, estão: administração de frete (CVO01), administração de frota (CVO02), processos administrativos de veículos comerciais (CVO04), etc.

- Gerência de Emergência (EM)

Os pacotes de mercado deste grupo têm como objetivo coordenar dentro de uma região as operações que envolvem o recebimento de notificações de emergências e o acionamento dos serviços de atendimento dessas emergências. Entre os 4 pacotes de mercado deste grupo estão: resposta à emergência (EM1), roteamento de emergência (EM2), suporte de socorro (EM3) e patrulhas de serviços nas rodovias (EM4).

- Dados Arquivados (AD)

Os pacotes de mercado deste grupo têm por função acomodar opções de implementação que partem da geração de uma base de dados simples derivada de uma única origem de dados e forneçam saídas para sistemas mais complexos que envolvem várias origens de dados para *Data Warehouse*³, a fim de realizar consultas *on-line* e produzir relatórios personalizados. Este grupo envolve 3 pacotes de mercado, que são: mercado de dados ITS (AD1), Data Warehouse ITS (AD2) e Data Warehouse virtual de ITS (AD3).

- Gerência de Manutenção e Construção (MCO)

Neste grupo os pacotes de mercado têm por objetivo acomodar estratégias de operação das atividades de manutenção e construção que afetam a mobilidade nas vias e a variedade dos cenários envolvidos nessas atividades. Este grupo é composto de 10 pacotes de mercado, onde alguns deles são: manutenção de veículos de manutenção e construção (MCO02), tratamento de rodovias automatizadas (MCO05), coordenação da atividade de manutenção e construção (MCO10), etc.

Na Tabela 2.3, os grupos de pacotes de equipamentos estão relacionados aos serviços de usuário previstos pela NIA.

³Data Warehouse pode ser definido como um banco de dados orientado por assunto, integrado, não volátil e histórico, criado para suportar o processo de tomada de decisão.

Grupos de Pacotes de Mercado	ATMS	APTS	ATIS	AVSS	CVO	EM	AD	MCO
Informações prévias de viagem			x					x
Informação para motoristas em rota	x		x					
Orientação de rotas			x		x			
Combinação de transportes e reservas			x					
Serviços de informação aos viajantes			x					
Controle de tráfego	x	x	x			x		
Gerência de incidentes	x		x		x	x		x
Gerência de demanda de viagens	x	x	x					
Teste de emissões	x							
Interseções com trilhos e auto-estradas	x		x	x				
Gerência de transporte público		x						
Informação de ônibus em trânsito		x	x					
Transporte público personalizado		x	x					
Segurança de viagens em transportes públicos		x						
Serviços de pagamento eletrônico	x	x	x					
Rastreamento eletrônico de veículos comerciais					x			
Inspeção de segurança de rodovias automatizadas					x			
Monitoração de segurança <i>on-board</i>					x			
Administração de veículos comerciais					x			
Respostas a incidentes com materiais perigosos					x			
Gerência de frota comercial					x	x		
Notificação de emergência e segurança pessoal						x		
Gerência de veículos de emergência				x				
Prevenção de colisão longitudinal				x				
Prevenção de colisão lateral				x				
Aumento de visibilidade para prevenção de acidentes				x				
Acionamento de serviços de segurança em prontidão				x				
Retenção pré-acidente				x				
Operação de veículo automatizado				x				
Função de armazenamento de dados							x	
Operações de Manutenção e construção	x					x	x	x

Tabela 2.3: Grupos de Pacotes de Mercado associados aos Serviços de Usuários.

2.7 Turbo Architecture

Para auxiliar no desenvolvimento de ITS tomando como base a estrutura da NIA, a Iteris desenvolveu um software chamado *Turbo Architecture* (Iteris, 2003).

O *Turbo Architecture* é uma ferramenta destinada aos planejadores de transporte e concessionárias públicas ou privadas. Esta ferramenta utiliza dados de entrada do usuário e informações da NIA, gerando saídas sob a forma de relatórios e gráficos, trazendo uma representação de alto nível de um projeto de arquitetura ou de uma arquitetura regional.

Os projetos gerados podem ser compostos exatamente dos elementos previstos pela NIA, ou, podem ser personalizados de acordo com as características e necessidades das regiões, onde os serviços serão oferecidos e disponibilizados.

É importante destacar que esta ferramenta é recomendada a quem já é familiarizado com a NIA, pois não se trata de uma ferramenta de introdução à arquitetura.

Dentre os objetivos desta ferramenta são citados:

- Direcionar o desenvolvimento de um projeto ou de uma arquitetura regional, identificando e extraíndo partes da *National ITS Architecture*;
- Apoiar no mapeamento local das necessidades de uma região;
- Ajudar na resolução de conflitos potenciais entre projetos e arquiteturas regionais;
- Fornecer as condições iniciais de desenvolvimento de uma arquitetura ITS em conformidade com a NIA.

2.7.1 Entrada de Dados

Existem duas formas de fornecer entradas de dados à ferramenta, uma delas é através de telas de questionários (Figura 2.9), com o objetivo de realizar entrevistas que levem a uma série de questões e opções, resultando na identificação de conjuntos de serviços e elementos que serão utilizados. As questões apresentadas na entrevista são pertinentes à infraestrutura geral da NIA.

Concluída a entrevista é possível adicionar novos elementos, ou realizar alterações à estrutura gerada através de entradas feitas diretamente na base de dados, que é a segunda forma de fornecer entradas à ferramenta.

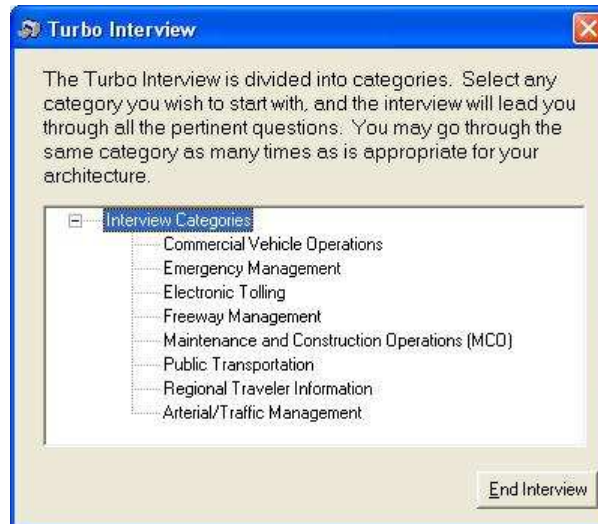


Figura 2.9: Tela inicial de entrevistas direcionada por categorias de serviços de usuários.

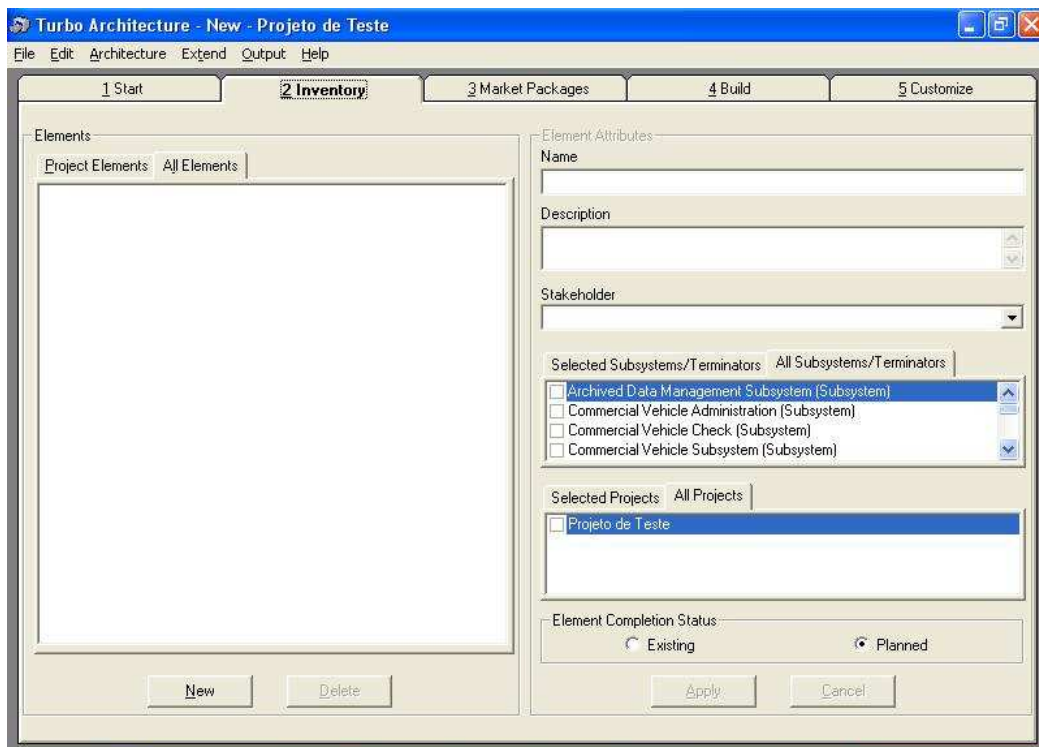


Figura 2.10: Interface de entrada direta de dados no software.

Entretanto, nada impede que a etapa de entrevista seja dispensada e as entradas sejam feitas todas acessando diretamente a base de dados do aplicativo (Figura 2.10). Neste caso é preciso tomar cuidados especiais na interconexão entre os elementos envolvidos para que sejam geradas adequadamente as saídas do programa.

2.7.2 Saídas geradas pela ferramenta

As saídas geradas pelo *Turbo Architecture* são de dois tipos: uma na forma de diagramas e a outra na forma de relatórios.

Na Figura 2.11 é apresentada a interface que permite escolher os tipos de diagramas que se deseja gerar.



Figura 2.11: Tela de opções de diagramas disponíveis.

Dentre os diagramas que podem ser gerados como saída estão:

1. Diagrama de Comunicações (*sausage*): ilustra as modalidades de comunicação usadas entre os subsistemas selecionados (Figura 2.12). Os métodos de comunicação possíveis são citados na seção 2.5.2. No diagrama gerado aparece apenas a comunicação existente entre os subsistemas da NIA, não incluindo os terminadores (pessoas e equipamentos que interagem com os subsistemas).
2. Diagrama de Interconexão: este diagrama representa as interconexões entre os pares de elementos selecionados para o projeto, capturando as interfaces entre as entidades físicas da arquitetura (Figura 2.13).
3. Diagrama de Fluxo: o diagrama de fluxo apresenta os fluxos de dados entre as entidades físicas da arquitetura, que nada mais é do que o fluxo de arquitetura obtido a partir

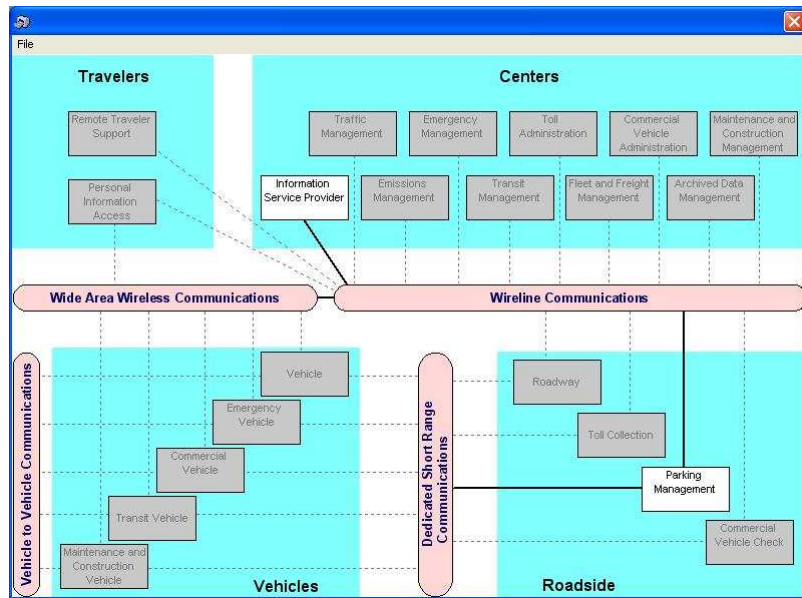


Figura 2.12: Diagrama de comunicações.

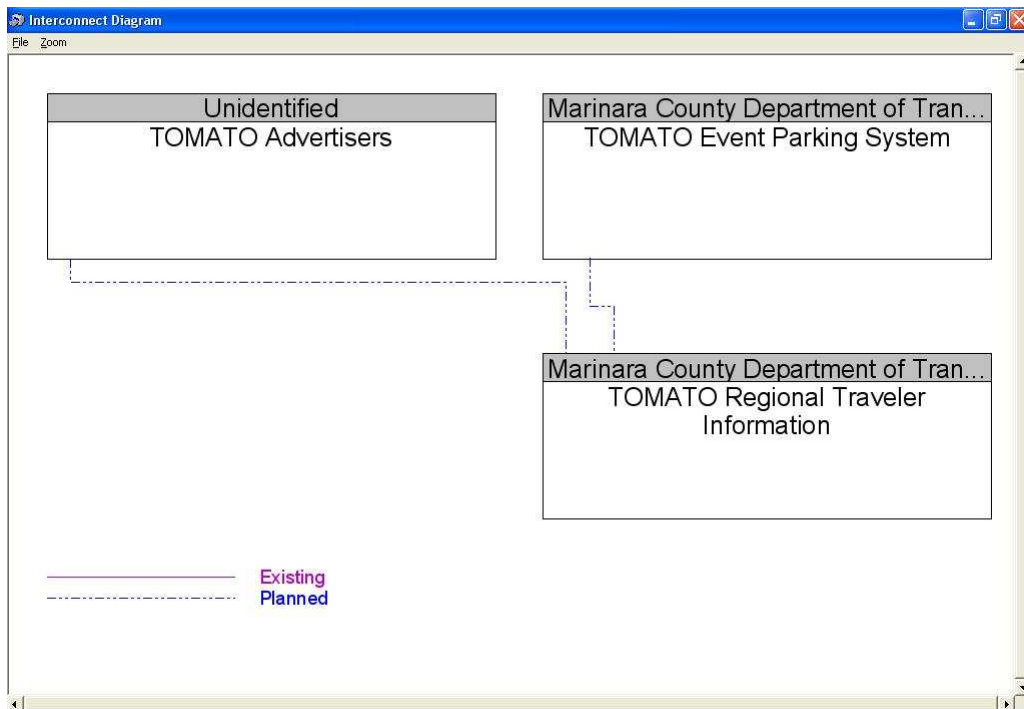


Figura 2.13: Diagrama de interconexão.

dos elementos selecionados (Figura 2.14). Este diagrama pode ser gerado em forma integral, contendo todos os elementos necessários para fornecer um serviço, ou parcial, destacando o fluxo de informações entre apenas alguns desses elementos.

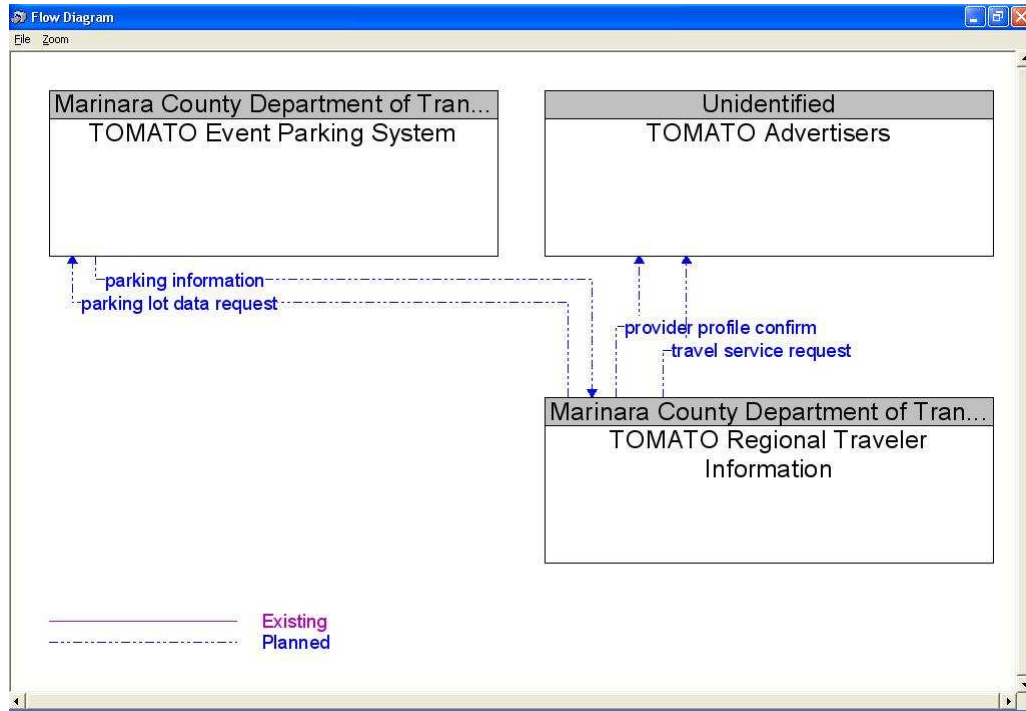


Figura 2.14: Diagrama de fluxo.

Além dos diagramas podem ser gerados relatórios que são uma espécie de documentação da arquitetura gerada. Na Figura 2.15 é apresentada a interface que mostra as opções de relatório que podem ser gerados. De acordo com os filtros disponíveis e com os tipos de relatórios escolhidos, pode-se obter as relações entre diferentes projetos e informações sucintas pertinentes aos elementos, subsistemas, terminadores e fluxos de arquitetura dentro de uma determinada região.

Na Figura 2.16 é apresentado um relatório gerado pelo programa.



Figura 2.15: Tela de opções de relatórios disponíveis para serem gerados.

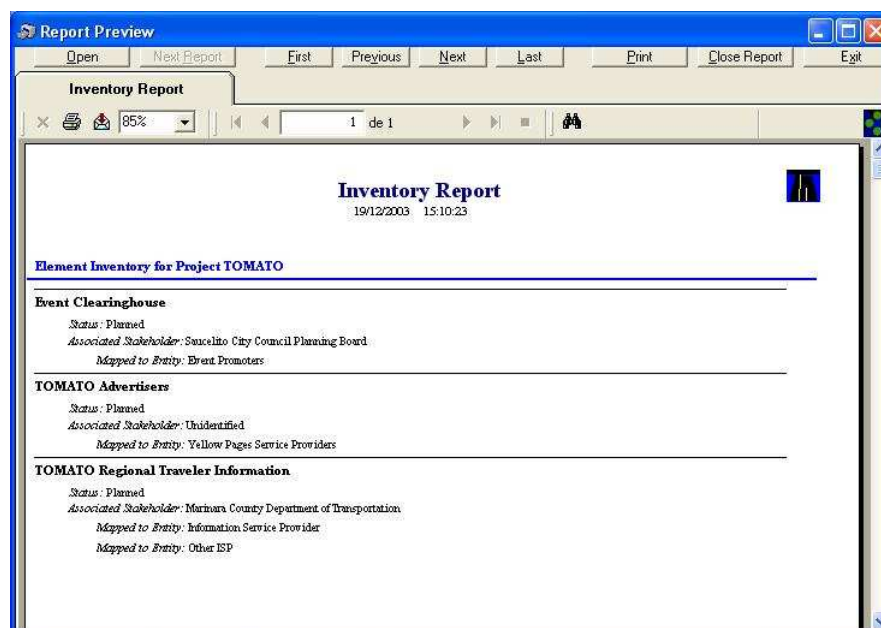


Figura 2.16: Relatório gerado pelo programa.

2.7.3 Análise da Ferramenta

Levantadas as características da ferramenta *Turbo Architecture* e após alguns testes na geração de projetos de arquiteturas é possível perceber que se trata de uma ferramenta que pode ser utilizada para apoio a desenvolvedores, mas não pode ser considerada como uma ferramenta CASE (*Computer Aided Software Engineering*) no sentido de documentar, gerar projetos de software e códigos fontes compiláveis em alguma linguagem de programação. Isto se deve ao fato de que a ferramenta foi projetada originalmente para uso dos planejadores de tráfego e não de desenvolvedores de software. Contudo, a intenção em estudá-la foi avaliar sua aplicabilidade no auxílio ao processo de desenvolvimento dos subsistemas da NIA.

A *Turbo Architecture* também não pode ser considerada uma solução completa no planejamento de tráfego, uma vez que não é possível prever todas as necessidades particulares de transporte em determinadas regiões.

2.8 Conclusão

Neste capítulo foi levantada uma abordagem geral sobre a arquitetura de Sistemas Inteligentes de Transporte definida pela NIA e o entendimento obtido desta. Com o objetivo de melhorar este entendimento e de validar sua utilização em um problema real específico envolvendo a escolha de serviços, projeto e implementação, definiu-se um problema utilizando um conjunto reduzido de serviços e desenvolveu-se um protótipo a partir da arquitetura adotada como referência. O desenvolvimento deste protótipo é descrito em detalhes no capítulo 3 a seguir.

Capítulo 3

Protótipo do Serviço de Informação ao Viajante Baseado na NIA

3.1 Introdução

Neste capítulo será descrita a implementação do protótipo proposto e que foi desenvolvido, o qual disponibiliza o serviço de informação ao viajante seguindo o *framework* definido pela NIA. Este serviço tem por objetivo fornecer as condições de tráfego de uma via através de uma interface web.

A escolha específica deste serviço não tem nenhum motivo em especial, apenas escolheu-se um dentre os serviços relacionados pela NIA, com objetivo de se construir uma aplicação, onde se pudesse mapear elementos das arquiteturas lógica e física, relacionando-os aos serviços e aos usuários para os quais se destinam. Identificados esses elementos, a partir dos DFDs, as etapas de desenvolvimento e implementação são descritos, fazendo uso das especificações de processos extraídas da arquitetura lógica. Por fim, são descritos a simulação de tráfego utilizada para fornecer os dados de tráfego ao protótipo e os resultados obtidos na implementação.

3.2 Serviços de Informação aos Viajantes

3.2.1 Descrição do Serviço

Dentre os serviços de usuários previstos pela NIA, este encontra-se no grupo de serviços de Gerência de Transportes e Viagens. Mais especificamente o serviço implementado refere-se

ao subconjunto de Serviços de Informação ao Viajante (*TSI - Traveler Services Information*), o qual tem por finalidade fornecer informações que auxiliem nas decisões de viagem de um usuário. O protótipo implementa parte deste serviço fornecendo as condições de tráfego vigentes de uma via específica ao viajante, através de uma interface, neste caso uma interface Web.

O principal requisito envolvido com o fornecimento desse serviço é da possibilidade de acesso às informações disponíveis através de uma das seguintes formas: rádio de monitoração de auto-estradas, linhas telefônicas, computadores pessoais, computadores embutidos em veículos, quiosques em áreas públicas, dispositivos pessoais portáteis. Entretanto, o acesso às informações não se limita a essas formas.

3.2.2 Identificando Dados e Processos para Implementação do Serviço

Segundo o próprio processo de desenvolvimento da NIA (Capítulo 2), para cada serviço de usuário são definidos processos (PSpecs) que os atendam. Então, os fluxos de dados e processos envolvidos no fornecimento de serviços de informação aos viajantes foram extraídos da arquitetura lógica, para que a partir disso se pudesse chegar a sua implementação. Contudo, é importante saber que, a especificação desses processos descreve *O QUÊ* deve ser feito e que tipos de informações são trocadas, mas não descrevem *COMO* devem ser implementadas as funções e atividades especificadas nestes processos, isto é, as especificações dos processos servem apenas para orientar os projetistas de sistemas nas especificações de implementação.

É importante destacar ainda, que a proposta do protótipo trata apenas da implementação parcial deste serviço, portanto os processos e fluxos de dados considerados são apenas aqueles que viabilizam o fornecimento de informações a respeito das condições de tráfego em uma via.

Percorrendo os DFDs que compõem a Arquitetura Lógica da NIA, o DFD resultante com os processos e fluxos de dados envolvidos no fornecimento deste serviço é o apresentado na Figura 3.1.

As especificações dos processos apresentados no DFD resultante demonstrado na Figura 3.1 e seu dicionário de dados correspondente podem ser encontrados nos Apêndices B.1 e B.2.

3.2.3 Mapeamento para a Arquitetura Física

Identificados os processos relacionados ao fornecimento do serviço em questão, torna-se possível obter o mapeamento para a arquitetura física dentro do *framework* da NIA.

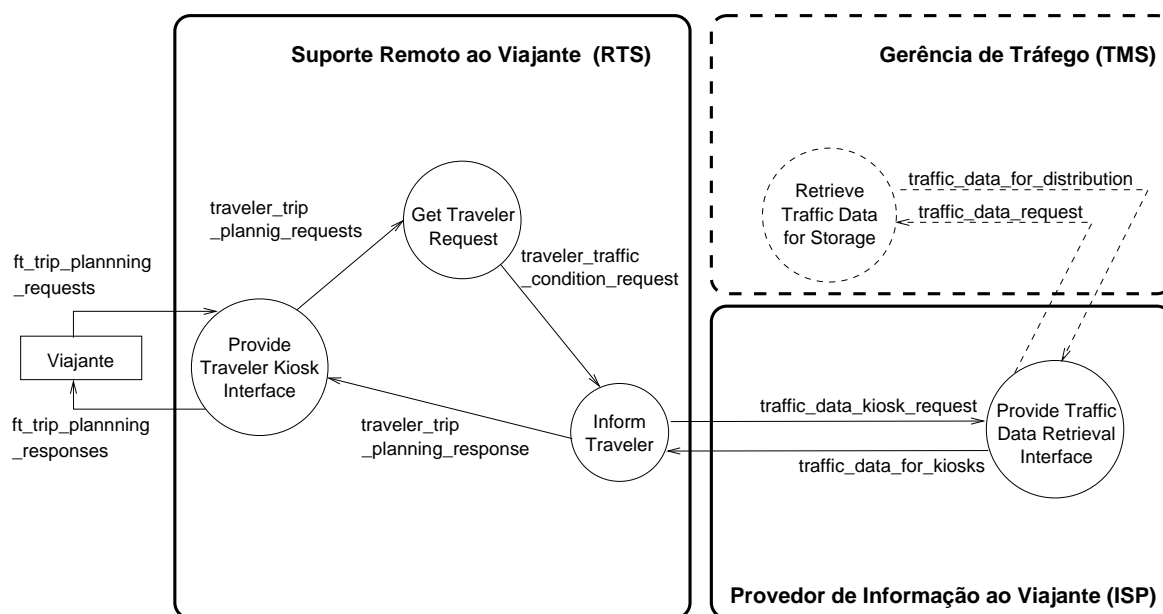


Figura 3.1: Diagrama de Fluxo de Dados envolvido na implementação do Serviço de Informação ao Viajante.

Os primeiros elementos identificados a partir dos processos envolvidos no fornecimento do serviço escolhido são os subsistemas aos quais esses processos pertencem. Neste caso os subsistemas mapeados são os subsistemas: Suporte Remoto ao Viajante e Provedor de Serviço de Informação.

Embora na Figura 3.1 o subsistema de gerência de tráfego esteja representado, ele não faz parte do conjunto de subsistemas destinado a fornecer serviços de informação aos viajantes, porém as informações disponíveis nele são necessárias para alimentar o subsistema Provedor de Serviço de Informação, para que esse possa prover informações de tráfego aos usuários.

O fluxo de arquitetura entre os subsistemas para oferecer o serviço é apresentado na Figura 3.2 e a sua descrição está no Apêndice C.

É importante destacar que, para cada subsistema foram desenvolvidas apenas as partes correspondentes aos pacotes de equipamentos relacionados ao pacote de mercado, responsável por fornecer o serviço desejado.

O grupo de pacotes de mercado responsável por fornecer os Serviços de Informação aos Viajantes, é o grupo de Sistemas de Informação Avançada ao Viajante (ATIS). A seguir, na subseção 3.2.4, é descrito o pacote de mercado pertencente a este grupo que é responsável por fornecer o serviço implementado pelo protótipo.

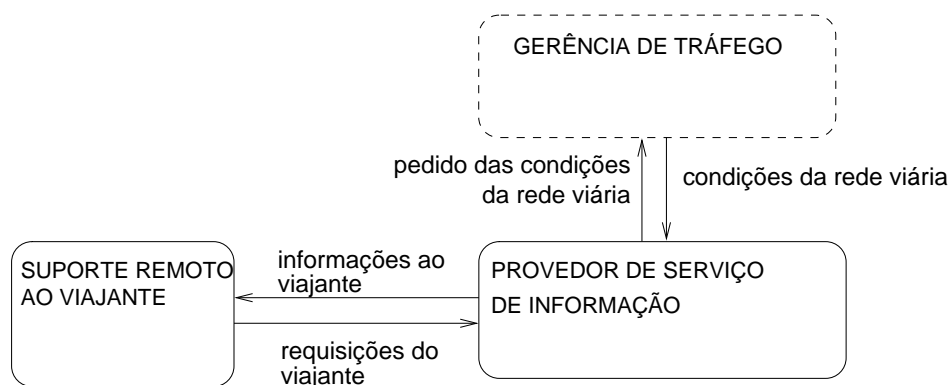


Figura 3.2: Fluxo de arquitetura entre subsistemas para oferecer o Serviço de Informação ao Viajante.

3.2.4 Pacote de Informação Interativa ao Viajante

O Pacote de Mercado que tem por função fornecer o serviço de informação aos viajantes, mais especificamente, informações a respeito das condições de tráfego nas vias, é o Pacote de Informação Interativa ao Viajante (denominado pela NIA, como ATIS2), que faz parte do grupo de Sistemas de Informação Avançada ao Viajante (ATIS).

Este pacote de mercado fornece informações em resposta a um pedido do viajante. Tanto os sistemas interativos de pedido/resposta em tempo real, como os sistemas que captam uma informação para um usuário baseado na definição de seu perfil, são suportados. O viajante pode obter informações correntes considerando as condições de tráfego corrente, serviços de transporte público (ônibus), caronas e mobilidade multimodal (utilizando várias formas de locomoção para realizar uma viagem), gerência de estacionamento, e informações sobre o custo dos serviços.

Além disso, este pacote também permite que comerciantes recebam informações de tráfego em seus dispositivos pessoais, ou a partir de sistemas destinados a viajantes remotos, para melhor informar seus clientes sobre as condições de tráfego nas vias. A distribuição adequada deste pacote de mercado propicia a confiabilidade na disponibilização dos dados de transportes obtidos pela instrumentação das vias em tempo real.

Um viajante pode também entrar com suas preferências pessoais e informações de identificação através de um “Cartão de Viajante”, que pode conferir as informações do sistema referentes ao viajante, as quais podem ser atualizadas a qualquer tempo.

A Figura 3.3 mostra a representação deste pacote, incluindo os pacotes de equipamentos

dos subsistemas e os fluxos de arquitetura existentes entre elementos envolvidos no fornecimento do serviço de informação ao viajante.

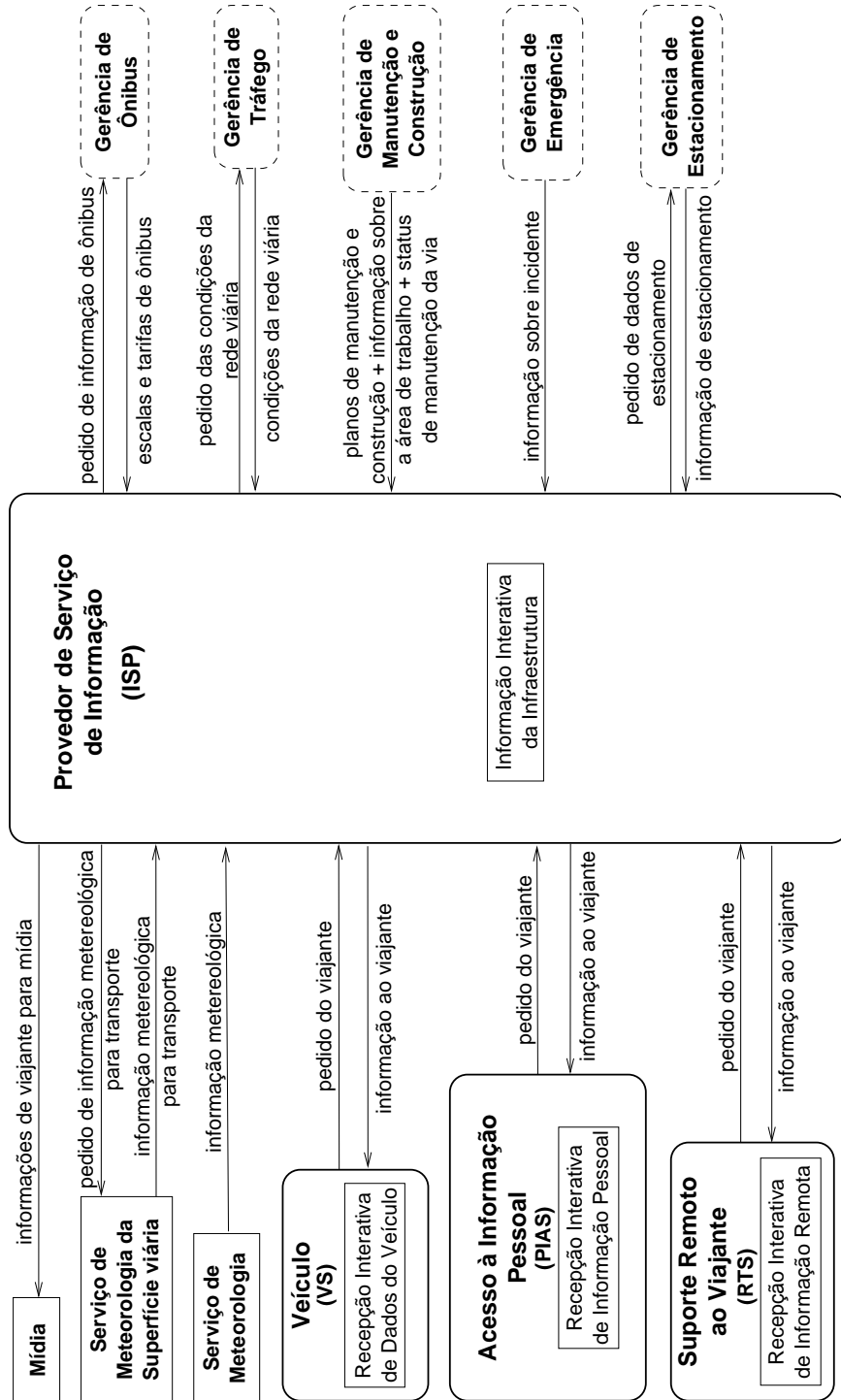


Figura 3.3: Representação gráfica do Pacote de Mercado ATIS2 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).

Mapeando os processos identificados na seção 3.2.2 para a os pacotes de equipamentos, representados na Figura 3.3, dos subsistemas identificados na seção 3.2.3 tem-se as seguintes associações (Tabela 3.1):

Pacote de Equipamento	Processo
Informação Interativa da Infraestrutura	. Provide Traffic Data Retrieval Interface
Recepção Remota de Informação Interativa	. Inform Traveler . Get Traveler Request . Provide Traveler Kiosk Interface

Tabela 3.1: Associação entre processos e pacotes de equipamentos do Pacote de Mercado ATIS2.

O diagrama de transações¹ que apresenta as trocas de informações entre as entidades envolvidas, a fim de prover este serviço é apresentado na Figura 3.4.

3.3 Serviço de Controle de Tráfego

3.3.1 Descrição do Serviço

O objetivo central da construção do protótipo é o de fornecer um serviço de informação ao viajante, o qual foi descrito na seção 3.2 deste capítulo. Contudo, para prover o controle semafórico da simulação utilizada, a qual será descrita na seção 3.6, e para alimentar o subsistema Provedor de Serviços de Informação com informações de tráfego, foi necessária a implementação de um outro serviço também relacionado ao grupo de serviços de Gerência de Transporte e Viagens, o serviço de Controle de Tráfego (*TC- Traffic Control*).

O serviço de Controle de Tráfego possibilita o gerenciamento eficiente do movimento de tráfego em estradas e rodovias. Dentre as funcionalidades agregadas a este serviço estão: (1) Otimização do Fluxo de Tráfego, (2) Observação de Tráfego, (3) Controle e (4) Fornecimento de Informação. Entre essas funcionalidades as de interesse, no problema a ser resolvido

¹O Diagrama de Transações utiliza uma notação própria definida pela NIA, tendo como objetivo representar todos os fluxos de arquitetura existentes entre as entidades físicas da arquitetura (subsistemas e terminadores), que estão associadas a um pacote de mercado. Na notação utilizada por este diagrama, as entidades físicas são representadas pelas linhas verticais identificadas com o nome dessas entidades, os fluxos de arquitetura são representados por setas uni ou bi-direcionais e as caixas tracejadas que envolvem um conjunto de fluxos de arquitetura representam seqüências em que esses fluxos devem ocorrer.

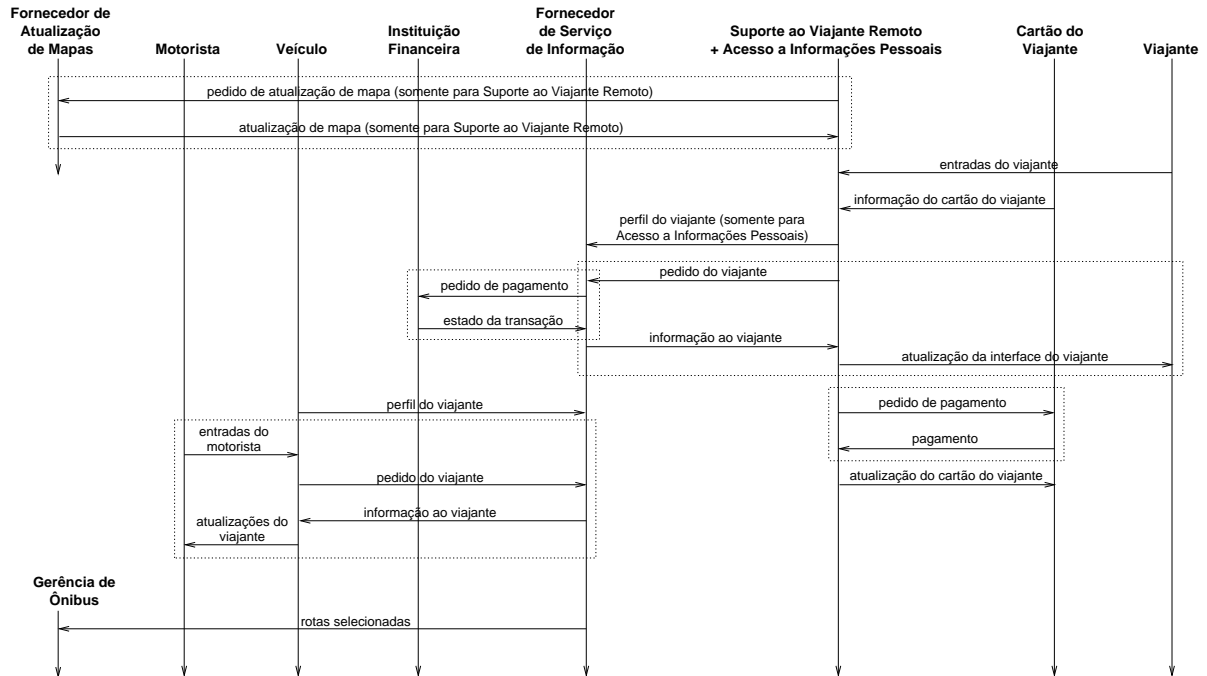


Figura 3.4: Diagrama de transações do Pacote de Mercado ATIS2 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).

pelos protótipos, são as de Observação de Tráfego, Controle e Fornecimento de Informações. Associadas a estas funções estão os requisitos citados abaixo:

- Capturar a instrumentação detalhada dos equipamentos instalados nas vias situadas em áreas específicas;
- Capturar dados suficientes para fornecer as condições vigentes de tráfego;
- Processar os dados de tráfego que foram capturados;
- Exercer o controle sobre os dispositivos de tráfego;
- Enviar dados de controle a dispositivos de tráfego, como sinais de tráfego.

3.3.2 Identificando Dados e Processos para Implementação do Serviço

Percorrendo os DFDs da Arquitetura Lógica da NIA, foram extraídos os processos e fluxos de dados representados na Figura 3.5, os quais estão relacionados às funcionalidades

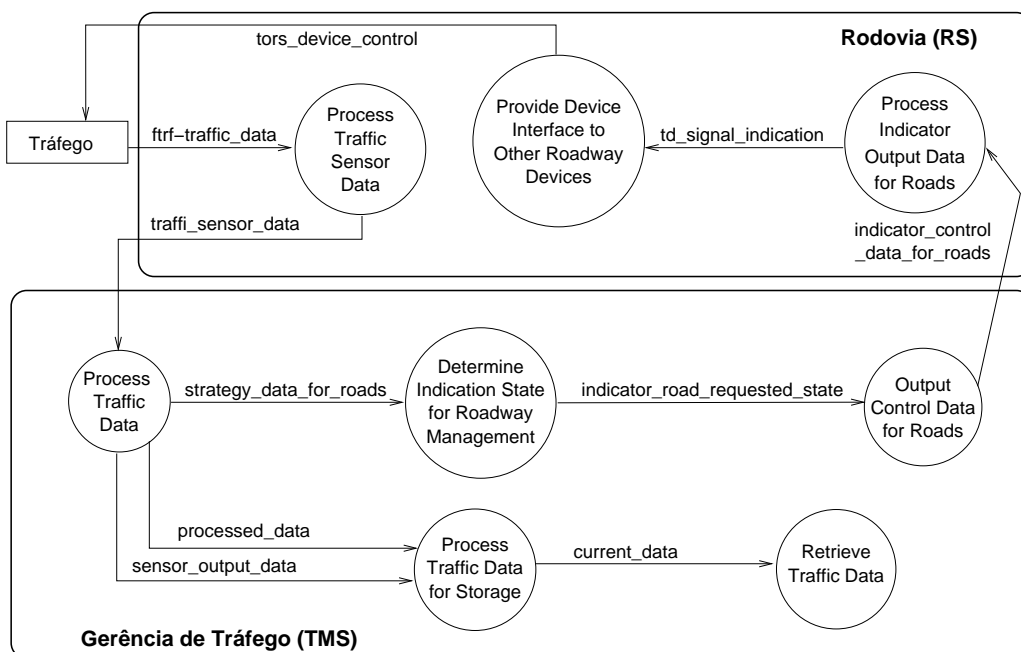


Figura 3.5: Diagrama de Fluxo de Dados envolvido na implementação parcial do serviço de Controle de Tráfego.

do serviço de Controle de Tráfego no suporte ao fornecimento do Serviço de Informação ao Viajante.

As especificações dos processos apresentados no DFD resultante demonstrado na Figura 3.5 e seu dicionário de dados correspondente podem ser encontrados no Apêndice B.1 e B.2.

3.3.3 Mapeamento para a Arquitetura Física

Mapeando os processos envolvidos no fornecimento do serviço de Controle de Tráfego para a arquitetura física da NIA, foram identificados os subsistemas de Gerência de Tráfego e de Rodovia.

O fluxo de arquitetura existente entre os subsistemas para prover o serviço é apresentado na Figura 3.6 e a sua descrição encontra-se no Apêndice C.

Entre os grupos de pacotes de mercado destinados ao fornecimento dos Serviços de Controle de Tráfego está o grupo de Sistemas de Gerência de Tráfego Avançada (ATMS). A seguir, nas subseções 3.3.4 e 3.3.5, serão descritos os pacotes de mercado: Observação da Rede Viária (ATMS01) e Controle da Superfície Viária (ATMS03), pertencentes ao grupo ATMS, que vão

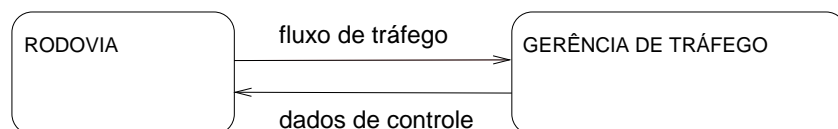


Figura 3.6: Fluxo de arquitetura entre subsistemas para oferecer parcialmente o serviço de Controle de Tráfego.

dar suporte ao fornecimento do Serviço de Informação ao Viajante, que é objetivo central da construção do protótipo. O ATMS01 será o pacote responsável por obter dados de observação da rede viária e alimentar o subsistema Provedor de Serviços de Informação com informações de tráfego e o ATMS03 por prover o controle semafórico da simulação de tráfego utilizada.

3.3.4 Pacote de Observação da Rede Viária

O Pacote de Observação da Rede Viária, identificado por ATMS01, inclui detectores de tráfego, outros equipamentos de observação, equipamentos de campo (instalados nas vias) e comunicações por fio para transmitir e coletar os dados de tráfego para o subsistema de Gerência de Tráfego (TMS - *Traffic Management Subsystem*). Os dados derivados das vias podem ser usados localmente, assim como, quando os detectores de tráfego são conectados diretamente a um sistema de controle de sinal ou remotamente. Os dados gerados por este pacote de mercado possibilitam aos gerentes de tráfego monitorar as condições de tráfego e das vias, identificar e verificar incidentes, detectar faltas nas operações de indicações e coletar dados de censos históricos para desenvolver estratégias de tráfego e planejamentos de longo prazo. Os dados coletados podem também ser analisados e estar disponíveis aos usuários e ao subsistema Provedor de Serviço de Informação.

A Figura 3.7 mostra a representação deste pacote, incluindo os pacotes de equipamentos dos subsistemas e os fluxos de arquitetura existentes entre os elementos envolvidos no fornecimento das funções de observação e fornecimento de informações de tráfego do serviço de Controle de Tráfego.

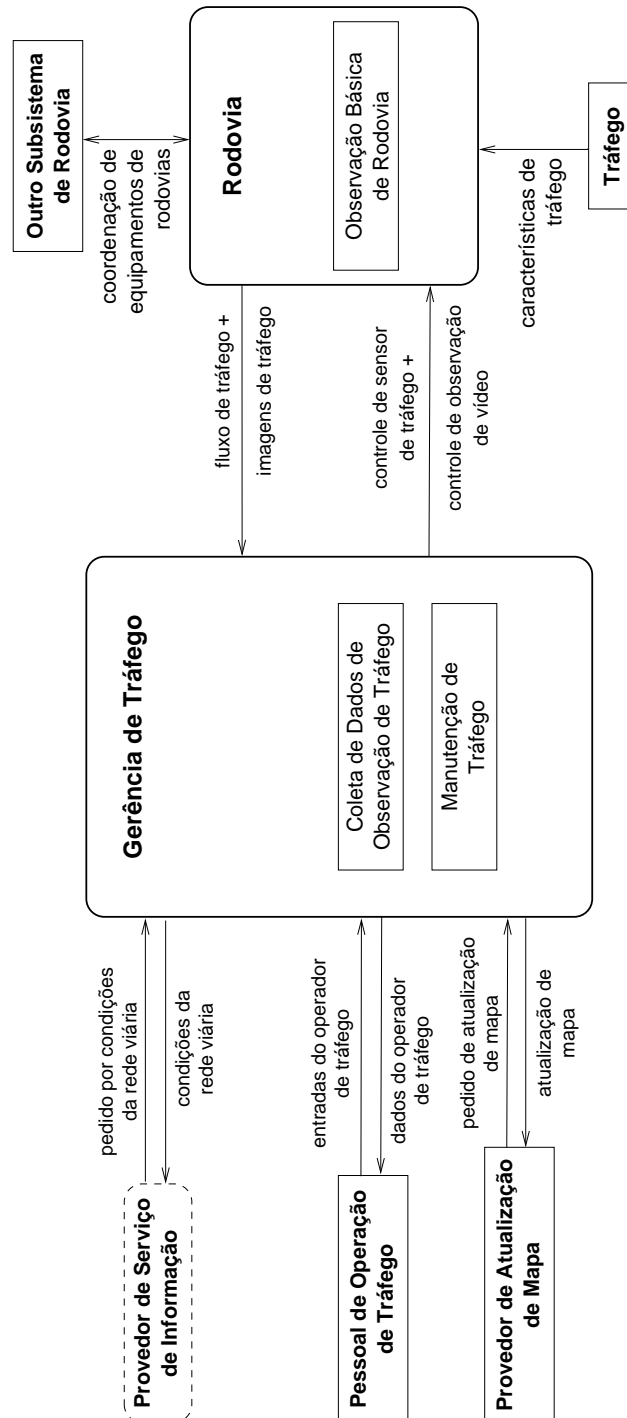


Figura 3.7: Representação gráfica do Pacote de Mercado ATMS01 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).

Mapeando parte dos processos identificados na seção 3.3.2 para os pacotes de equipamentos representados na Figura 3.7 pertencentes aos subsistemas identificados na seção 3.3.3 tem-se as seguintes associações (Tabela 3.2):

Pacote de Equipamento	Processo
Observação Básica de Rodovia	. Process Traffic Sensor Data
Coleta de Dados de Observação de Tráfego	. Process Traffic Data . Process Traffic Data for Storage . Retrieve Traffic Data

Tabela 3.2: Associação entre processos e pacotes de equipamentos do Pacote de Mercado ATMS01.

Os processos não mapeados neste pacote de mercado estão associados ao ATMS03 que será descrito na subseção 3.3.5.

O diagrama de transações que apresenta as trocas de informações entre as entidades que compõem a arquitetura, para implementar o pacote ATMS01 e oferecer parte das funções associadas ao serviço de Controle de Tráfego, é apresentado na Figura 3.8.

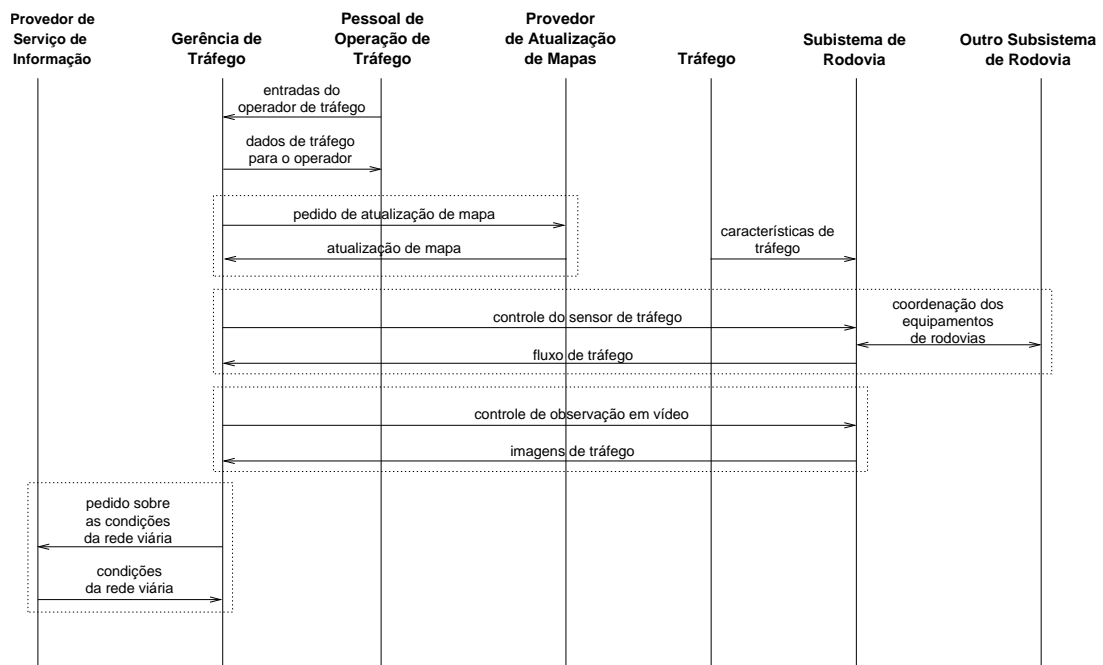


Figura 3.8: Diagrama de Transações do Pacote de Mercado ATMS01.

3.3.5 Pacote de Controle da Superfície Viária

Este pacote de mercado tem por finalidade fornecer controle central, monitoração de equipamentos, comunicação entre *links* e suportar o controle local de sinalização dos equipamentos e/ou o gerenciamento de tráfego arterial ².

Alguns dos sistemas de controle de sinal de tráfego são representados por este pacote de mercado abrangendo, desde o controle de sistemas com escalas fixas, até sistemas de tráfego completamente responsivos com ajuste dinâmico de planos e estratégias baseados nas condições correntes de tráfego e pedidos de prioridade. Resumidamente este pacote de mercado consiste em sistemas típicos de controle de sinalizações de tráfego urbano.

A Figura 3.9 mostra a representação deste pacote, incluindo os pacotes de equipamentos dos subsistemas e os fluxos de arquitetura existentes entre os elementos envolvidos no fornecimento parcial da função de controle do serviço de Controle de Tráfego.

Mapeando parte dos processos identificados na seção 3.3.2 para os pacotes de equipamentos representados na Figura 3.9 pertencentes aos subsistemas identificados na seção 3.3.3 tem-se as seguintes associações (Tabela 3.3):

Pacote de Equipamento	Processo
Coordenação de Equipamentos das Rodovias	. Provide Device Interface to Other Roadway Devices
Controle de Sinais das Rodovias	. Process Traffic Sensor Data . Process Indicator Output Data for Roads
Controle de Sinal da Central de Gerenciamento de Tráfego	. Process Traffic Data . Determine Indication State for Roadway Management . Output Control Data for Roads

Tabela 3.3: Associação entre processos e pacotes de equipamentos do Pacote de Mercado ATMS03.

Os processos não mapeados neste pacote de mercado estão associados ao ATMS01 o qual foi descrito na subseção 3.3.4.

²Tráfego arterial é o aquele situado nas vias arteriais, que são aquelas vias que concentram maior volume de tráfego e geralmente fazem ligações entre bairros.

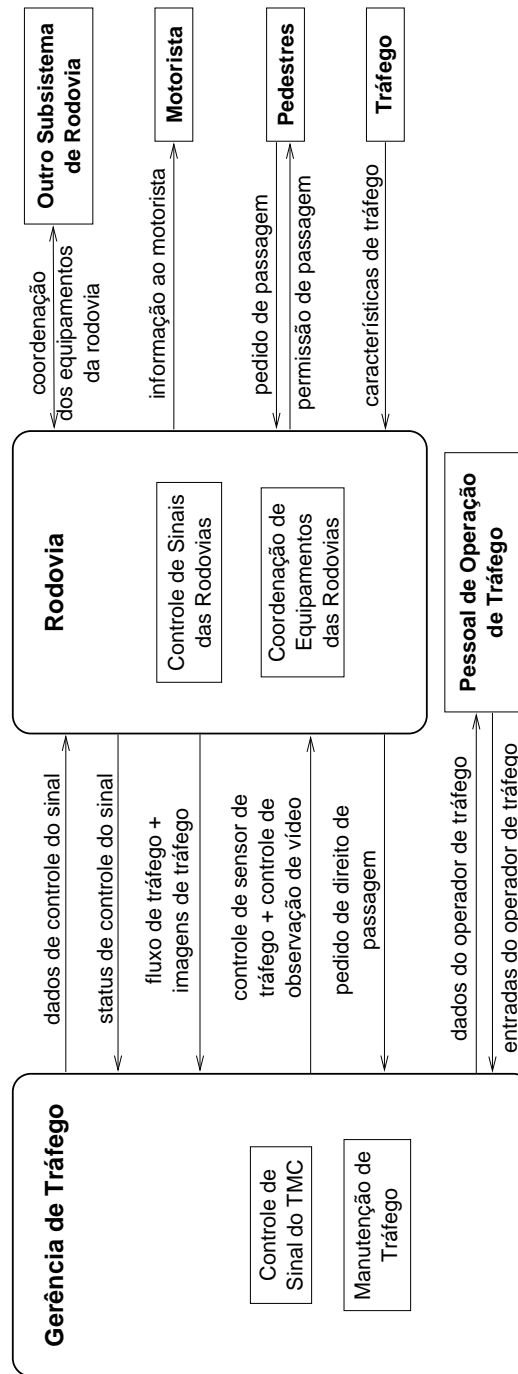


Figura 3.9: Representação gráfica do Pacote de Mercado ATMS03 (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002f).

O diagrama de transações que apresenta as trocas de informações entre as entidades que compõem a arquitetura, para implementar o pacote ATMS03 e oferecer parte das funções associadas ao serviço de Controle de Tráfego, é apresentado na figura 3.10.

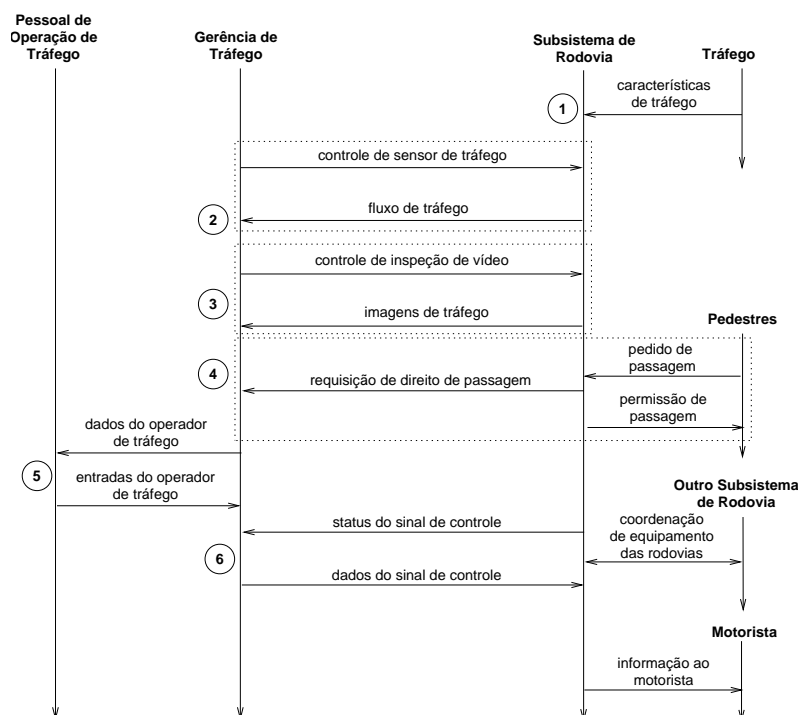


Figura 3.10: Diagrama de Transações do Pacote de Mercado ATMS03.

3.4 Implementação do Protótipo

3.4.1 Especificações Extraídas da NIA

Nas seções anteriores foram descritos separadamente os elementos que estão envolvidos direta ou indiretamente no fornecimento do Serviço de Informação ao Viajante, mais especificamente os elementos envolvidos na solução proposta pelo protótipo, que é o fornecimento das condições de tráfego de uma via aos viajantes.

A seguir estes elementos serão apresentados de forma integrada, descrevendo assim o processo utilizado desde a extração das especificações da NIA até se chegar na implementação efetiva do protótipo. A partir da definição dos serviços descritos nas seções 3.2 e 3.3 e dos processos identificados para implementação desses serviços, chega-se ao seguinte Diagrama

de Fluxo de Dados, representado pela Figura 3.11, que demonstra o ponto onde acontece a interconexão entre os serviços de informação ao viajante e de controle de tráfego.

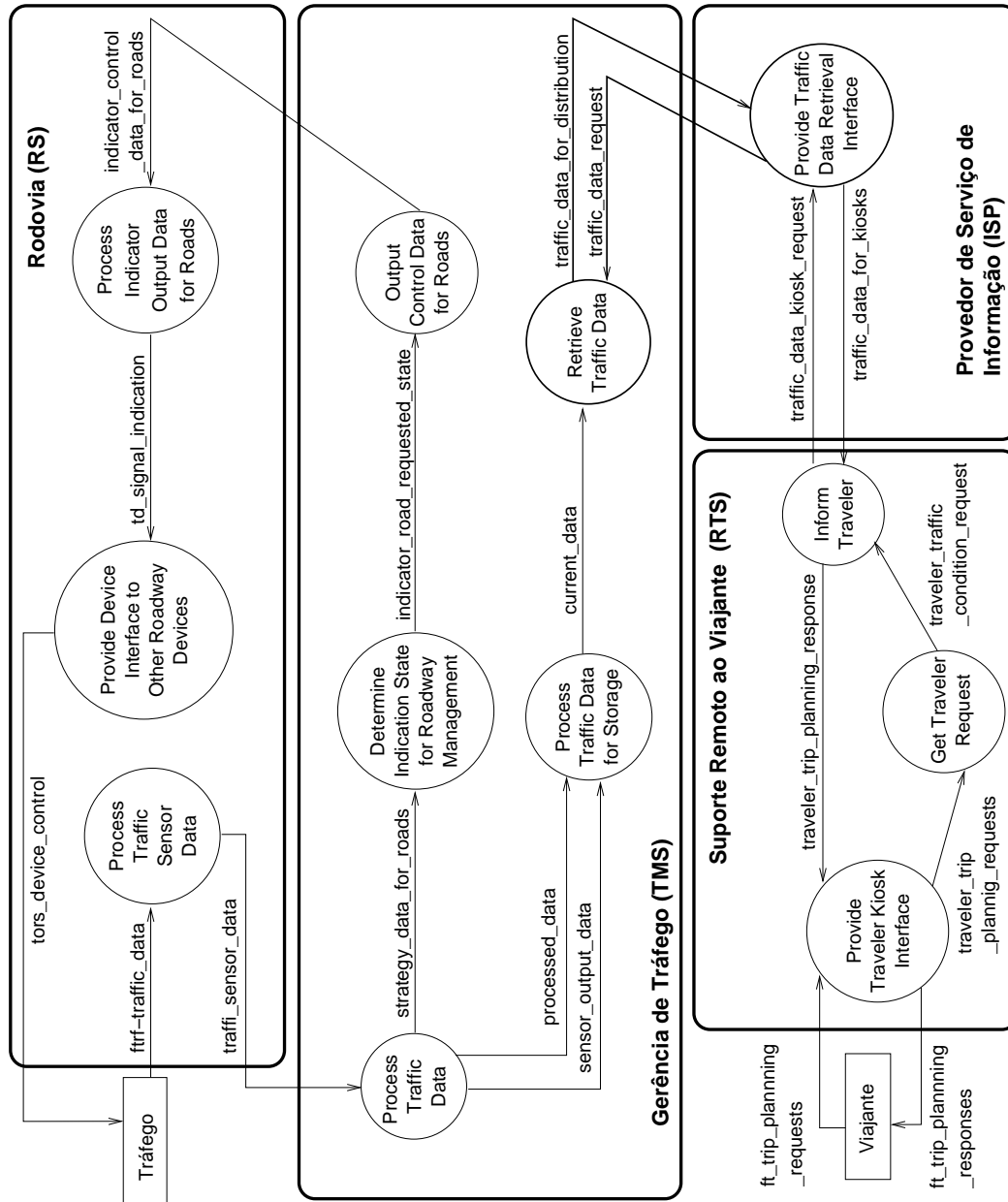


Figura 3.11: DFD Integrado dos processos que implementam parcialmente os serviços de informação ao viajante e de controle de tráfego.

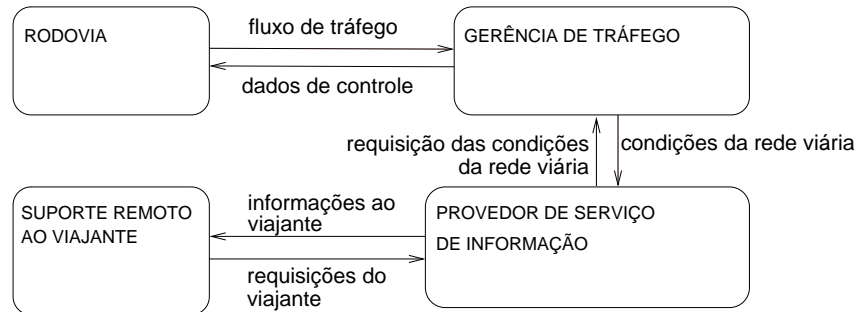


Figura 3.12: Mapeamento da arquitetura lógica para a arquitetura física.

A partir do DFD representado pela Figura 3.11 o mapeamento para a arquitetura física resultante é o demonstrado pela Figura 3.12.

O Diagrama de transações obtido a partir das entidades físicas identificadas neste mapeamento da arquitetura lógica para a arquitetura física é representado a seguir na Figura 3.13. Este diagrama é resultado da extração das transações necessárias dos pacotes ATIS2, ATMS02 e ATMS03 na implementação do protótipo.

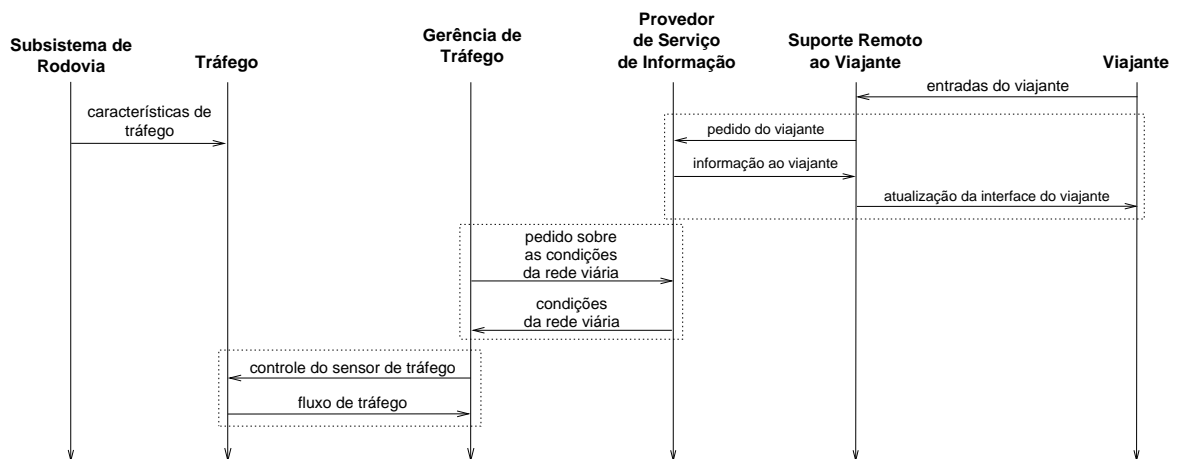


Figura 3.13: Diagrama de transações do protótipo.

Tendo os elementos da NIA identificados, a partir de suas especificações e da documentação relacionada aos DFDs, pacotes de mercado e diagramas de transações foi feita a implementação do protótipo. A seguir esta implementação é descrita em maiores detalhes.

3.4.2 Plataforma de Comunicação Entre os Subsistemas Envolvidos na Solução

É possível utilizar várias modalidades de comunicação entre os subsistemas definidos pela NIA conforme descrito na seção 2.5.2. Contudo, no escopo abrangido pelo protótipo a única modalidade de comunicação existente entre os subsistemas envolvidos na solução é a comunicação por fio, como representado na Figura 3.14, que esquematiza a comunicação entre os subsistemas baseado no *framework* da arquitetura física representado na Figura 2.7.

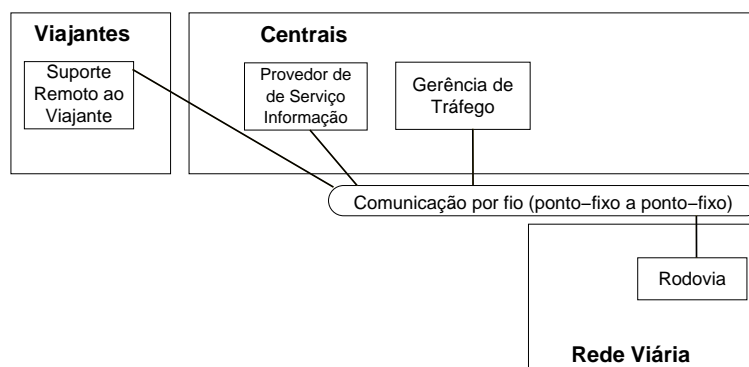


Figura 3.14: Modalidade de comunicação para fornecer os serviços implementados pelo protótipo.

Existem padrões de protocolos de comunicação em desenvolvimento ou já aprovados para realizar a comunicação entre os subsistemas, no entanto nenhum desses protocolos foi utilizado na implementação, uma vez que esse não é o foco principal deste trabalho.

Para realizar a comunicação entre os subsistemas foi adotada a plataforma de objetos distribuídos CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*).

O CORBA é um padrão definido pela OMG (*Object Management Group*), o qual permite que aplicações distribuídas comuniquem-se entre si e troquem informações em redes locais ou na própria Internet. Essas aplicações podem ser executadas em diferentes plataformas de *hardware* e de *software* e ainda, construídas em diferentes linguagens de programação.

A arquitetura CORBA permite que métodos de objetos remotos sejam ativados de forma transparente em ambientes heterogêneos distribuídos. O acesso remoto aos métodos de objetos é feito através de um ORB (*Object Request Broker*), que é o canal de comunicação para objetos distribuídos que interagem entre si utilizando um modelo de comunicação cliente-servidor (Oliveira et al., 2002).

Para tornar os métodos de objetos acessíveis é feita a definição de uma interface, a qual é construída a partir de uma IDL (Linguagem de Definição de Interface, do inglês, *Interface Definition Language*). A interface definida em uma IDL é usada para fazer o mapeamento para uma determinada linguagem de programação, fazendo com que seja possível assim obter a interoperabilidade entre objetos desenvolvidos em diferentes linguagens como C, C++, Java, Cobol.

A Figura 3.15 traz a representação da arquitetura CORBA.

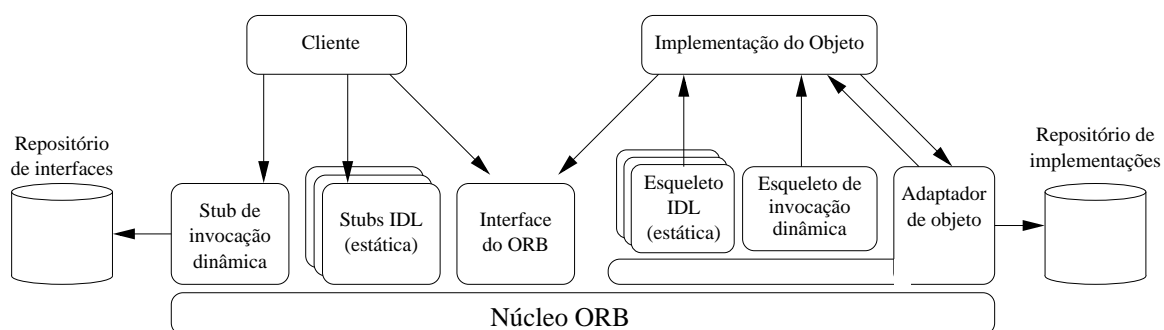


Figura 3.15: Arquitetura CORBA. (Oliveira et al., 2002)

Neste trabalho, o ORB utilizado foi o Orbacus 3.3.4 (IONA, 2000). A escolha por este ORB se deve ao motivo de que foi disponibilizado gratuitamente pela IONA³(IONA, 2002). Existem versões mais atuais disponíveis deste ORB, mas optou-se por utilizar a versão já disponível no laboratório onde esta pesquisa foi desenvolvida, o LCMI.

O protótipo foi desenvolvido utilizando duas linguagens com paradigma de orientação a objetos, que são C++ e Java. A decisão por estas linguagens se deve justamente ao fato de suportarem tal paradigma e com isso trazerem consigo as vantagens existentes quando se fala de projeto e implementação orientados a objetos, como por exemplo, suportar processos de desenvolvimento de software de forma evolutiva e incremental. Além disso, a orientação a objetos propicia a obtenção de produtos de software que agregam características de qualidade, como a manutenibilidade e a reusabilidade.

³Empresa voltada ao desenvolvimento de tecnologias de integração e middleware com o objetivo de prover a interoperabilidade de diferentes plataformas.

3.4.3 Detalhes de Implementação

Segundo a orientação da equipe de desenvolvimento da NIA, descrita no documento de Teoria das Operações (Iteris, Inc. Lockheed Martin, 2002g), cada subsistema foi implementado como um objeto. Cada um desses objetos é registrado em um servidor de nomes do ORB, tornando assim seus métodos acessíveis a outros objetos, segundo a interface definida por uma IDL. Com isso, os diferentes objetos podem estar em máquinas diferentes em uma rede local ou remota, comunicando-se através dos métodos disponibilizados nesta interface.

Esquemáticamente a comunicação sob a plataforma CORBA é representada pela Figura 3.16, onde cada subsistema foi nomeado segundo seu acrônimo utilizado pela NIA.

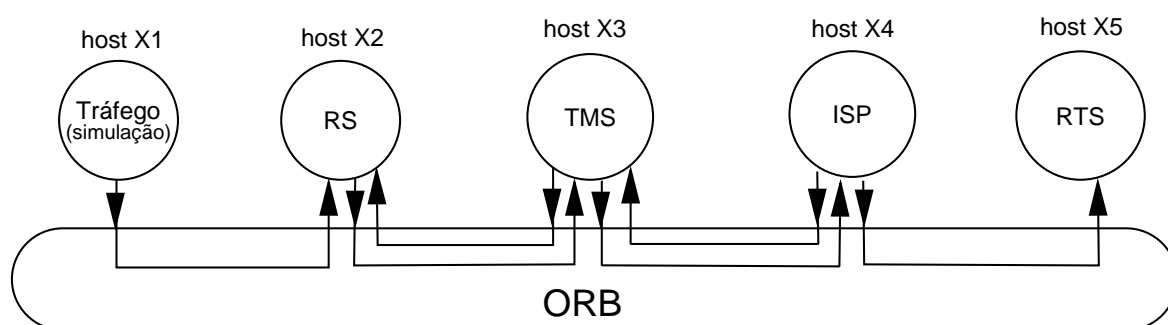


Figura 3.16: Comunicação entre os subsistemas.

A interface definida entre esses objetos é descrita na Figura 3.17, utilizando a sintaxe de uma linguagem de definição de interface (IDL). No início da descrição desta IDL foram construídas estruturas de dados que a maioria dos objetos têm acesso. Essas estruturas correspondem a conjuntos de dados de tráfego e de controle e foram definidas para facilitar a troca de informações entre os objetos. Em seguida, são declarados os métodos de cada objeto que estão disponibilizados pela interface e que serão responsáveis pela troca de informações entre eles.

```
module sistema {
    struct traffic_data {
        short link_time[6]; float sensor_count[6];
        float queue_link[6];
        boolean indication_link[6];
    };
    struct current_data {
        short link;
        float link_queue;
        short link_delay;
        boolean link_indication;
    };
    struct indication_control {
        boolean link_indication[6];
        short control_link_time[6];
    };

    module simulacao {
        interface simulador {
            traffic_data ftrf_traffic_data();
            void set_link_time(in short id, in short time);
            void set_vetor_semaforo(in short id, in boolean s);
            void run();
        };
    };

    module rs {
        interface RS {
            void load_traffic_sensor_data(in traffic_data td);
            traffic_data process_traffic_sensor_data();
            void process_indicator_output_data_for_roads(in indication_control dc);
            indication_control interface_control_to_roadway_devices();
        };
    };

    module tms {
        interface TMS {
```

```
        indication_control output_control_data_for_roads();
        void process_traffic_data(in traffic_data td);
        current_data retrieve_traffic_data(in short id);
    };
};
module isp {
    interface ISP {
        current_data traffic_data_retrieval_interface(in short id, in current_data cd);
    };
};
module rts {
    interface RTS {
        current_data inform_traveler(long id);
    };
};
};
```

Figura 3.17: Definição das interfaces entre os subsistemas implementados no protótipo.

3.5 Representação UML do Protótipo

Com o objetivo de descrever o conjunto de serviços implementados utilizando o paradigma de orientação a objetos, o protótipo será representado segundo a visão fornecida por alguns dos diagramas UML (*Unified Modeling Language*) (Rumbaugh et al., 1990; Scott, 2001; Muller, 2000), sendo eles os diagramas de Casos de Uso, Classes e de Seqüência.

As Figuras 3.18 e 3.19 apresentam os diagramas de Casos de Uso dentro do escopo do protótipo proposto, onde os atores representam usuários do sistema e correspondem aos terminadores definidos pela NIA, os quais foram citados na seção 2.5.1; e, os casos de uso relacionados a cada ator possuem correspondência direta com os serviços definidos pela NIA, assim como, com os pacotes de mercado que implemetam esses serviços. A tabela 3.4 apresenta essas correspondências.

Serviço de Usuário	Pacote de Mercado	Caso de Uso
Informação ao Viajante	ATIS2	Acessa informações sobre as condições de tráfego
Controle de Tráfego	ATMS01	Fornecer instrumentação das vias
Controle de Tráfego	ATMS03	Determina estratégias de controle de tráfego

Tabela 3.4: Correspondência existente entre Serviços de Usuários, Pacotes de Mercado e Casos de Uso.

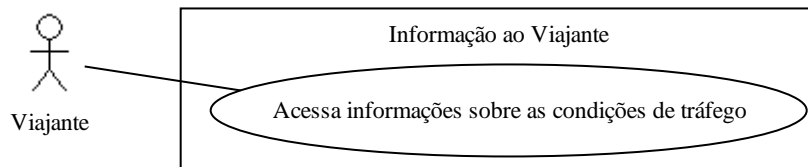


Figura 3.18: Diagrama de Caso de Uso do Protótipo - Serviço de Informação ao Viajante.

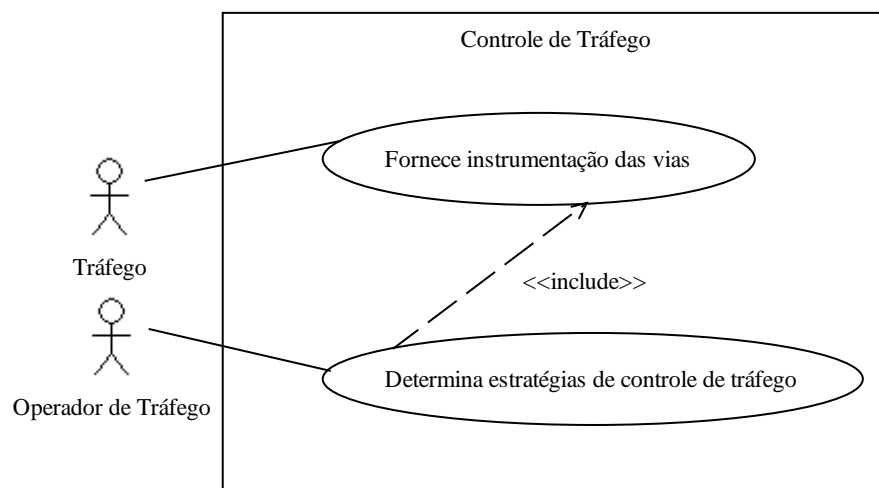


Figura 3.19: Diagrama de Caso de Uso do Protótipo - Serviço de Controle de Tráfego.

Considerações importantes a serem levantadas são que os subsistemas, como já dito anteriormente, foram implementados como objetos segundo a própria orientação da NIA, e os processos dos subsistemas correspondem aos métodos desses objetos. A abstração desses objetos pode ser visualizada no diagrama de classes representado na Figura 3.20. Os métodos destacados em itálico são justamente aqueles que estarão disponíveis para serem acessados através da interface fornecida pelo ORB, na plataforma distribuída em que foram implementados.

As classes foram nomeadas segundo os acrônimos utilizados pela NIA para identificar cada subsistema por ela definido. Com exceção da classe simulador que representa o terminador/ator *Tráfego*, e das estruturas auxiliares utilizadas definidas como *Types*, representando informações que correspondem a um conjunto de dados os quais são trocados entre os objetos.

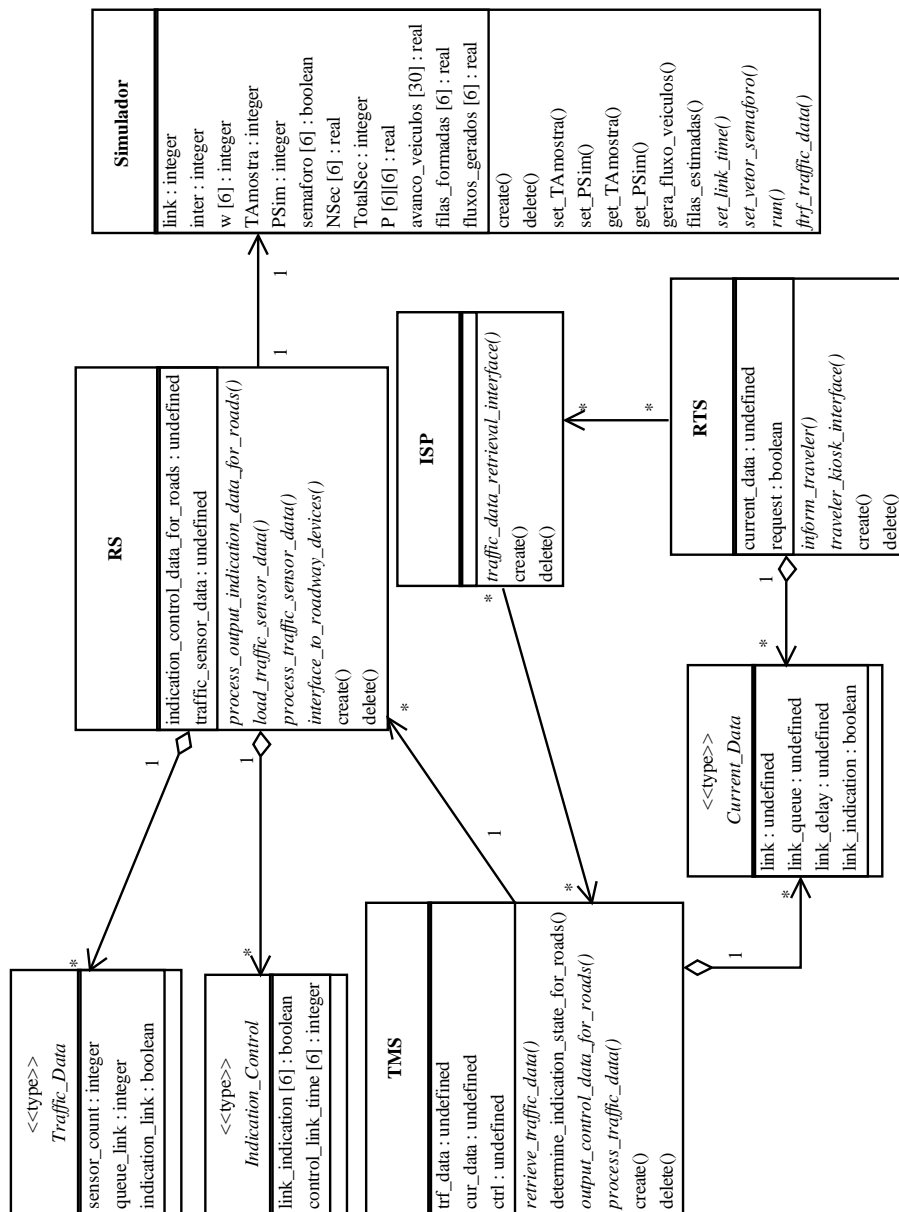


Figura 3.20: Diagrama de Classes do protótipo.

Os Diagramas de Seqüências foram obtidos a partir dos diagramas de transações da NIA, onde cada troca de mensagens entre dois objetos correspondem aos processos envolvidos no fluxo de arquitetura existente entre dois diferentes subsistemas/terminadores definidos pela NIA.

Para esclarecer como se obtiveram os diagramas de seqüência do protótipo é necessário observar as Figuras 3.11 e 3.13 que representam o DFD e o conjunto de transações, respectivamente, extraídos da NIA os quais estão relacionados ao protótipo.

Para se chegar, por exemplo, ao diagrama de seqüência apresentado na Figura 3.21, nota-se que os processos *inform_traveler*, *traffic_data_retrieval_interface* e *retrieve_traffic_data* do DFD (Figura 3.11) são exatamente aqueles que ultrapassam as fronteiras dos subsistemas aos quais pertencem, provendo assim a interação entre eles. Sendo assim, estes processos que trocam dados entre subsistemas, em um nível maior de abstração estarão envolvidos em um fluxo de arquitetura. Então os processos que cruzam as “fronteiras” dos subsistemas corresponderão às mensagens trocadas entre os objetos em um diagrama de seqüência.

Isso pode ser observado nos diagramas de seqüência apresentados nas Figuras 3.21, 3.22 e 3.23, os quais representam as seqüências de mensagens que descrevem cada cenário dos casos de uso apresentados nas Figuras 3.18 e 3.19.

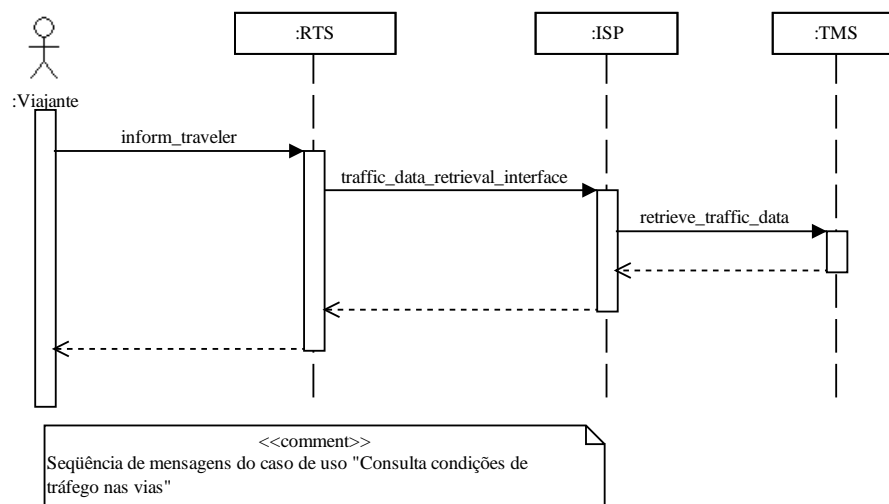


Figura 3.21: Diagrama de Seqüência do caso de uso “Acessa informações sobre as condições de tráfego”.

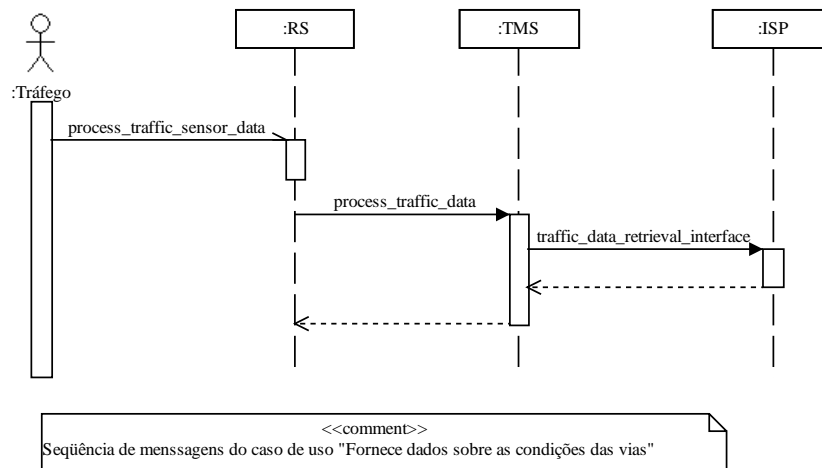


Figura 3.22: Diagrama de Seqüência do caso de uso “Fornecer instrumentação das vias”.

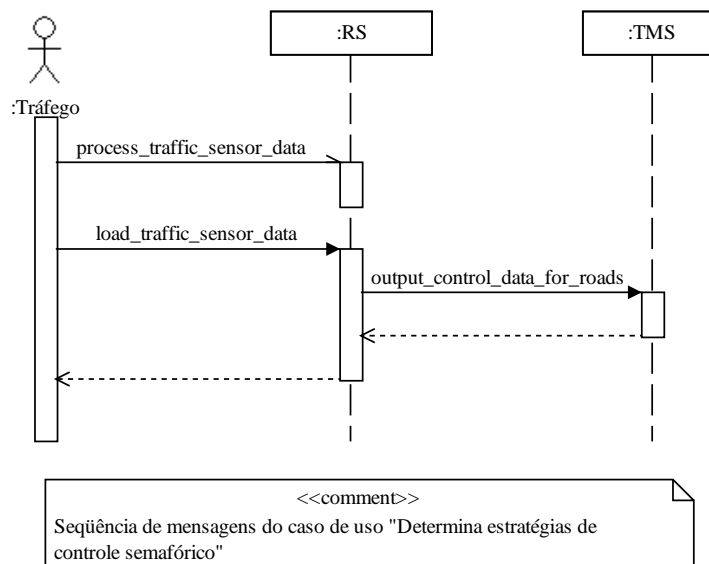


Figura 3.23: Diagrama de Seqüência do caso de uso “Determina estratégias de controle de tráfego”.

3.6 Simulação de Tráfego

Os dados de fluxo de tráfego utilizados para a implementação do serviço de informação ao usuário, foram obtidos a partir de uma simulação de tráfego, implementada por (Galvão e Kraus, 2003), a qual se baseia no modelo desenvolvido por Farges et al. (Farges et al., 1991), o PROLYN. A descrição do modelo de tráfego utilizado por este simulador está no Apêndice D.

Essa simulação representa o terminador *Tráfego* que, segundo a NIA, representa os equipamentos de aferição das vias, os quais fornecem os dados a respeito das condições vigentes das mesmas, dentre eles podem ser citados semáforos, contadores de veículos, controladores de velocidade, etc.

A simulação de tráfego desenvolvida é esquematizada na figura 3.24, onde os círculos numerados representam as interseções da via e os quadrados numerados os *links*, que recebem indicações semafóricas.

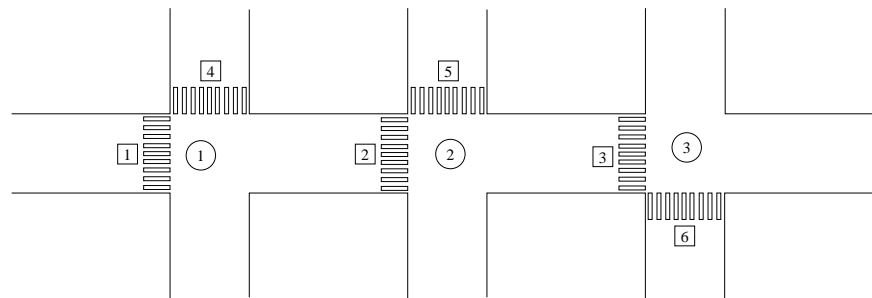


Figura 3.24: Esquema da via simulada.

A entrada de veículos nos links 1, 4, 5 e 6 é simulada a partir de um mecanismo, onde a cada período de amostragem é gerado um número aleatório dentro do intervalo $[0,1)$. Para o link 1, que está situado na via principal, a quantidade de veículos que entram na via segue as seguintes regras de acordo com o número gerado:

- $[0.00, 0.25)$: entrada de veículos = 0;
- $[0.25, 0.75)$: entrada de veículos = 1;
- $[0.75, 1.00)$: entrada de veículos = 2.

Para os links 4, 5 e 6, situados em vias secundárias, a quantidade de entrada de veículos é dada por:

- $[0.00, 0.40)$: entrada de veículos = 0;
- $[0.40, 1.00)$: entrada de veículos = 1;

Nos links 2 e 3 a geração da entrada de veículos depende das saídas dos links 1 e 4, e, 2 e 5 respectivamente. Então, para as entradas de veículos nestes links são consideradas as saídas geradas pelas seções anteriores a cada um deles, considerando ainda as probabilidades de conversão à esquerda nos links 4 e 5, conforme a descrição do modelo de tráfego adotado.

3.7 Resultados da Implementação

O protótipo obtido consiste na implementação dos quatro subsistemas envolvidos no fornecimento dos serviços desejados, que são RTS, ISP, TMS e RS, os quais interoperam em um ambiente distribuído de comunicação. A comunicação entre esses subsistemas é feita utilizando a plataforma CORBA.

Estas aplicações são executadas em 4 computadores em uma rede local, conforme ilustra a Figura 3.25. O objetivo desta figura é apenas representar a distribuição dos sistemas em rede e não a topologia utilizada pela rede, no caso, a rede local do Departamento de Automação de Sistemas (DAS), UFSC. O uso de uma rede local é para efeito de testes, sendo que a implementação real deverá ser feita com outro suporte de comunicação e outros protocolos.

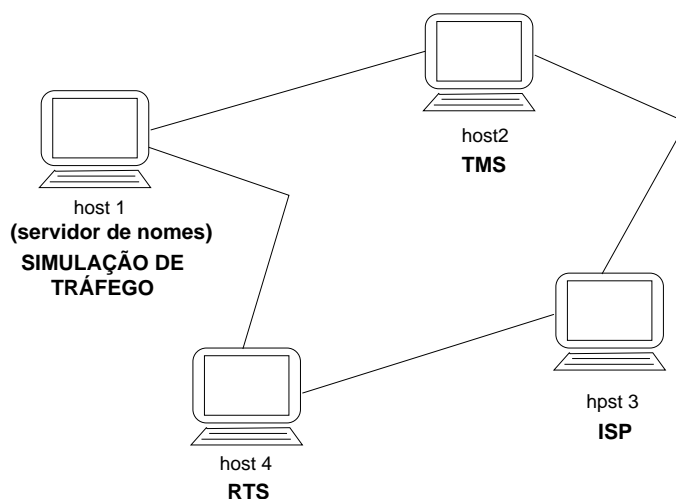


Figura 3.25: Execução do protótipo em rede.

De acordo com a Figura 3.25 cada aplicação é executada em um *host* diferente, e no host 1 é executado o servidor de nomes ORB, onde é feito o registro dessas aplicações (subsistemas do protótipo), para que as mesmas sejam acessadas neste ambiente distribuído.

Na Figura 3.26 é apresentada a interface do protótipo implementado, que corresponde ao subsistema RTS. Este subsistema fornece a interface com usuário (viajante).

Nesta interface uma via com três cruzamentos é apresentada esquematicamente, onde os traços que cortam as vias nas interseções representam os pontos em que há presença de semáforos. Na parte inferior da janela são apresentadas as informações sobre as condições da via principal, ou, quando clicado com o mouse sobre a região onde se situa um semáforo, esta área é destacada por um retângulo e as informações apresentadas são referentes aos dados específicos daquela seção da via.

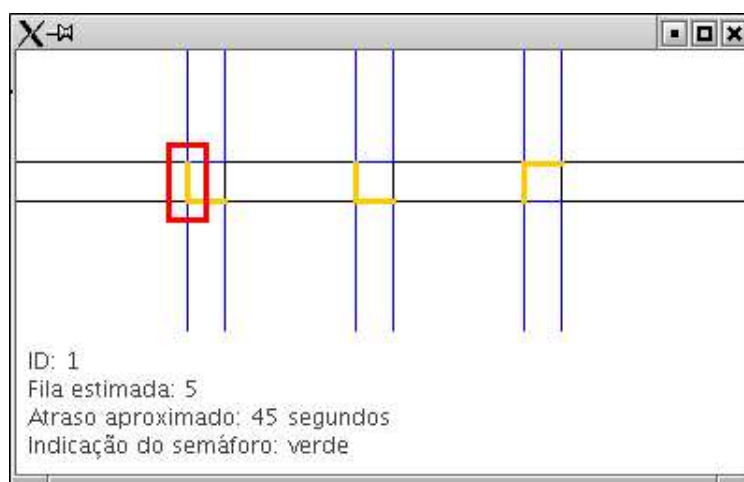


Figura 3.26: Interface do protótipo que fornece as condições de tráfego de uma via.

Os testes realizados permitiram verificar a viabilidade do uso das especificações da NIA em um protótipo de ITS.

3.8 Conclusão

Neste capítulo foi descrito o protótipo desenvolvido, o qual implementa parte do serviço de informação ao viajante, detendo-se apenas no fornecimento das condições de tráfego de uma via, seguindo o *framework* proposto pela NIA.

A descrição feita abordou todo o processo realizado desde a extração dos elementos que compõem a NIA até a implementação efetiva do protótipo através da sua representação em diagramas UML.

A experiência obtida no processo de desenvolvimento do protótipo, tornou possível delinear etapas que permitem propor uma metodologia de construção de ITS, de acordo com a arquitetura de referência utilizada, porém utilizando no processo de desenvolvimento representações orientadas a objetos, através de diagramas UML.

O interesse em se propor uma metodologia que seja apoiada no paradigma de orientação a objetos, se deve ao fato de que, ao contrário das abordagens estruturadas de desenvolvimento de sistemas, a orientação a objetos, quando utilizada adequadamente, dá condições para que se gere produtos de software que agregam características de reusabilidade e manutenibilidade. Essas características são fundamentais na determinação da qualidade do software, uma vez que trazem como consequência um melhor aproveitamento dos recursos de desenvolvimento.

A metodologia proposta neste trabalho é descrita no capítulo 4 a seguir.

Capítulo 4

Metodologia Orientada a Objetos para o Desenvolvimento de Aplicações Utilizando a Referência NIA

4.1 Introdução

A construção de um protótipo que estivesse de acordo com o *framework* proposto pela NIA, propiciou observar passos em direção à solução no desenvolvimento de aplicativos de software caracterizados como ITS, a partir dos documentos que descrevem esta arquitetura. Partindo dessa experiência de desenvolvimento, construiu-se a proposta de uma metodologia com o propósito de direcionar os projetistas e desenvolvedores de ITS. O objetivo deste capítulo é descrever uma proposta de metodologia basendo-se na experiência de desenvolvimento do protótipo, a qual consiste no mapeamento dos elementos definidos pela NIA em diagramas da UML. Este mapeamento dos diagramas da NIA para UML tem como propósitos: obter uma representação orientada a objetos que permita seguir, no desenvolvimento de ITS, a recomendação da NIA em se ter uma implementação orientada a objetos; e, fazer uso de ferramentas UML já existentes. O serviço implementado pelo protótipo descrito no capítulo anterior (Capítulo 3) será utilizado como referência para demonstrar de maneira ilustrativa a metodologia que está sendo proposta.

4.2 Descrição da Metodologia

Nesta seção será descrita a metodologia proposta por este trabalho, para o desenvolvimento orientado a objetos de ITS de acordo com o *framework* da NIA. Para isso, o protótipo desenvolvido (descrito no Capítulo 3) será utilizado como exemplo para ilustrar como a partir das representações da NIA é possível se chegar às representações em diagramas UML.

4.2.1 Análise de Requisitos

Como em qualquer processo de desenvolvimento do software, algumas atividades iniciais são necessárias para que seja feito o levantamento a respeito do produto de software que se deseja desenvolver. Essas atividades iniciais correspondem à etapa de Análise/Levantamento de Requisitos.

Na fase de levantamento de requisito são identificadas as características e as funcionalidades que o software deve conter, as interfaces existentes com elementos externos (pessoas ou outros sistemas físicos ou de software) e ainda as restrições e riscos que devem ser considerados.

Esse levantamento inicial pode ser feito por meio de entrevistas com os usuários potenciais do software que vai ser desenvolvido, através de questionários aplicados aos mesmos, ou ainda com o uso de protótipos que possibilitem validar e encontrar características do produto final. Todos esses mecanismos têm por objetivo descobrir as necessidades sob o ponto de vista do usuário, as quais devem ser atendidas pelo software.

Esta etapa inicial é fundamental para obter um produto de qualidade no final do desenvolvimento, o que envolve sobretudo a redução de custos de manutenção.

Para apoiar esta etapa de levantamento de requisitos são utilizadas algumas técnicas como por exemplo, *Brainstorming* (Tempestade de idéias), a fim de se obter uma cobertura mais completa sobre funcionalidades e características que devem estar presentes no software a ser desenvolvido. O uso dessas técnicas tem por objetivo extrair além dos requisitos explícitos, também aqueles implícitos, os quais o próprio usuário não consegue identificar entre suas necessidades.

4.2.2 Enquadrando o Problema ao *Framework* da NIA

No caso do desenvolvimento de sistemas inteligentes de transporte (ITS) em conformidade com a estrutura proposta pela NIA, é necessário que se identifique dentro desse levantamento

inicial feito junto aos “clientes” do software, quais os serviços de usuários identificados pela NIA (chamados também deUSR) satisfazem total ou parcialmente aos requisitos levantados.

Por exemplo, para o protótipo descrito no capítulo anterior, partiu-se da seguinte especificação inicial: “Obter as condições vigentes de tráfego de uma via através de uma interface web”. O primeiro passo a ser tomado é o de verificar dentre os USRs da NIA, qual ou quais deles se enquadram e atendem tal especificação.

Neste caso específico, o subconjunto de serviços que atende a esta especificação inicial é o de *Serviços de Informação aos Viajantes* descrito na seção 3.2.1.

Na descrição deste serviço estão associados ainda outros requisitos, os quais foram definidos pela NIA, e que também devem ser considerados para que seja possível mais tarde, caso se deseje ampliar o conjunto de serviços a se oferecer, manter-se a interoperabilidade provida por esta arquitetura de sistemas.

4.2.3 Identificando o Relacionamento com Outros Serviços

Um fator importante a se considerar é se o serviço desejado depende de outros serviços para que seja possível sua disponibilização.

Tomando a situação de implementação do protótipo (Capítulo 3), que se utilizou de um simulador de tráfego como fonte de dados de tráfego, para suportar o controle de fluxo de veículos gerado pela simulação foi necessário implementar um outro serviço relacionado ao subconjunto dos serviços de controle de tráfego, o qual pudesse prover o controle das indicações semaforicas dentro da simulação, além de alimentar um Provedor de Serviço de Informação com informações de tráfego.

Imaginando um caso real, onde por exemplo, a agência responsável por gerir o sistema viário, a mesma provavelmente já contaria com este serviço disponível. Nesta situação para que se pudesse obter os dados vigentes de tráfego de determinadas vias em um centro urbano, seria necessário que esta agência de alguma forma tornasse público esses dados. Quando se trata de distribuir e disponibilizar informações que são de interesse para vários usuários e para outros subsistemas, a NIA trata esta questão utilizando um Provedor de Serviços de Informação (ISP - Information Service Provider). Este provedor de serviços de informação é um dos subsistemas centrais da arquitetura física da NIA. Assim, as informações sobre uma determinada região de uma cidade ficam centralizadas em um provedor de informações. Através de um ISP é possível que os demais subsistemas consultem informações fornecidas pelos demais subsistemas centrais da NIA.

O fornecimento dos dados vigentes de tráfego para alimentar um ISP está entre os serviços de Controle de Tráfego. Portanto, para que seja possível fornecer a um viajante, os dados referentes às condições de tráfego, é necessário que se tenha disponível também o serviço de controle de tráfego, pois este será o responsável por capturar os dados de um subsistema de Gerência de Tráfego (TMS - Traffic Management Subsystem) para alimentar um ISP com essas informações.

Assim, além de identificar a partir das especificações levantadas junto aos usuários do sistema, quais serviços dentre os dispostos na NIA serão implementados, também se faz necessária a identificação de outros serviços que viabilizam a disponibilização desses novos serviços a serem fornecidos.

4.2.4 Extraindo as Especificações da NIA

A partir do conhecimento dos serviços de usuários e de suas relações, podem ser extraídos os elementos das especificações da NIA.

Na documentação da NIA relacionada à descrição detalhada dos serviços de usuários, estão também relacionados os respectivos PSpecs envolvidos na implementação de cada um desses serviços. Da mesma forma a documentação relacionada aos Pacotes de Mercados traz consigo os serviços de usuários para os quais são destinados a atender.

Desta forma podem ser utilizadas duas diferentes abordagens para encontrar os elementos da NIA envolvidos no fornecimento de um serviço, que podem ser:

- *Top-Down*: nesta abordagem se partiria do Pacote de Mercado que fornece um determinado serviço; em seguida são relacionados os pacotes de equipamentos dentro deste pacote de mercado relacionados ao serviço desejado; e por fim, se chega aos PSpecs que compõem os pacotes de equipamentos identificados. No momento em que os pacotes de equipamentos são encontrados, automaticamente também são identificados os subsistemas aos quais pertencem.
- *Bottom-Up*: nesta abordagem o processo seria inverso, onde partindo da identificação do serviço de usuário são relacionados os PSpecs que implementam este serviço; tendo os PSpecs identificados, os mesmos devem ser mapeados aos seus pacotes de equipamentos correspondentes; e assim, finalmente o conjunto desses pacotes de equipamentos devem ser mapeados ao seu correspondente pacote de mercado.

Em qualquer uma das abordagens descritas acima que seja utilizada, o objetivo é obter os diagramas e especificações contidas na NIA relacionados ao serviço que se deseja disponibilizar. Para o exemplo do protótipo desenvolvido, nas seções 3.2 e 3.3, são apresentados os diagramas e as especificações extraídas da NIA referentes aos pacotes de mercado implementados no protótipo, os quais fornecem os serviços identificados. Já na seção 3.4 são apresentados os resultados do refinamento realizado a partir dessas representações, contendo somente o que é de interesse à aplicação desenvolvida.

4.2.5 Tradução dos Modelos NIA para os Modelos UML

Diagrama de Casos de Uso

Os serviços de usuários identificados a partir das especificações de requisitos levantadas podem ser representados na forma de Casos de Uso.

Para se chegar nesta representação dos serviços de usuários em casos de uso foi considerado que: os atores correspondem aos terminadores definidos pela NIA para os quais esses serviços são destinados; e, cada caso de uso corresponde a uma especificação associada a um serviço.

Por exemplo, tomando como referência o grupo de Serviços de Informação ao Viajante (descrito na seção 3.2.1) que resultou no diagrama de caso de uso representado na Figura 4.1, tem-se que o terminador viajante se tornou um ator e uma das especificações associadas ao serviço de informações ao viajante se tornou um caso de uso. Na descrição detalhada (U.S. Department of Transportation, 2002a) deste serviço entre as suas funções está o acesso às informações disponíveis pelos viajantes e entre essas informações disponíveis estão aquelas referentes às condições de tráfego nas vias, então se chegou ao caso de uso “Acesso às informações disponíveis sobre as condições de tráfego”.

Através do processo descrito acima foi obtido o seguinte diagrama de casos de uso representado pela Figura 4.2 para os Serviços de Controle de Tráfego.

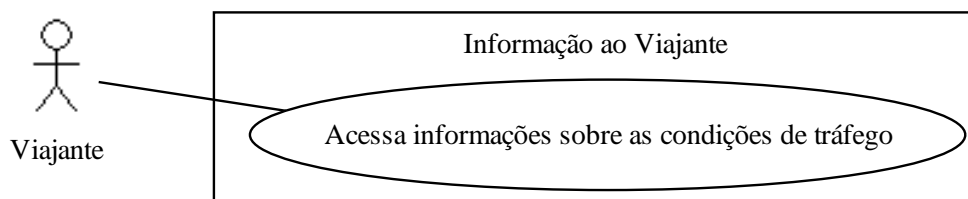


Figura 4.1: Diagrama de Casos de Uso dos Serviços de Informação ao Viajante.

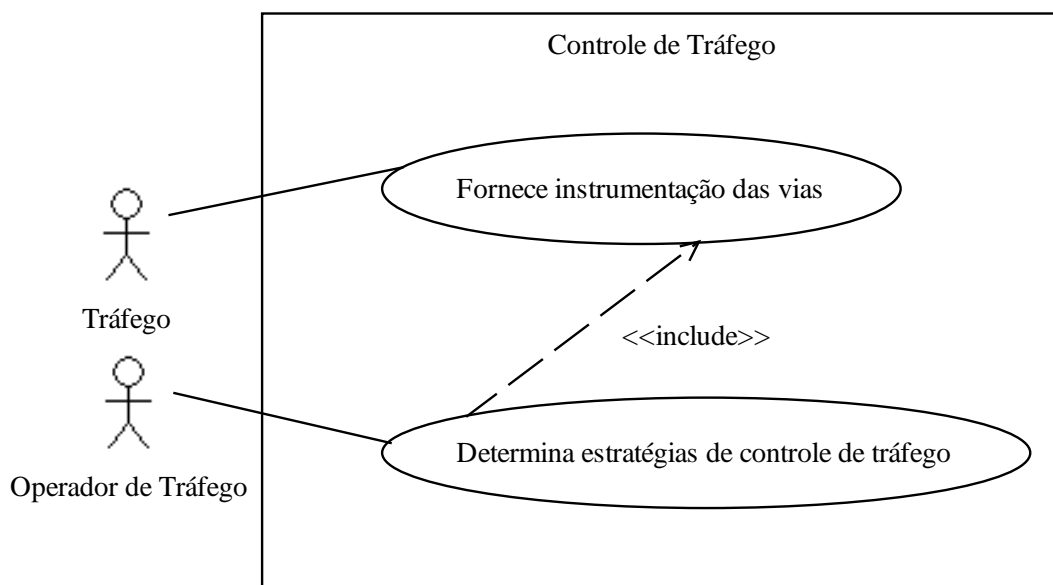


Figura 4.2: Diagrama de Casos de Uso dos Serviços de Controle de Tráfego.

Diagrama de Classes

O processo de desenvolvimento da NIA parte de uma relação de serviços de usuários. Em seguida são definidos PSpecs (especificações de processos) relacionados a esses serviços. A partir disso esses PSpecs são agrupados segundo suas similaridades funcionais em Pacotes de Equipamentos. Estes são os agrupamentos de menor granularidade definidos na arquitetura física. Propõe-se então neste trabalho que, para se obter os digramas de classes UML, os Pacotes de Equipamentos sejam considerados e traduzidos como classes.

Assim, na proposta para a definição de uma classe baseada em um pacote (NIA) de equipamento, os PSpecs que o compõe se tornarão métodos desta classe, e os atributos dessa classe serão aqueles dados que são transformados por esses métodos.

Contudo, utilizando esta forma de mapeamento acontece o seguinte problema: um mesmo processo pode pertencer a diferentes pacotes de equipamentos, provocando uma redundância de métodos em diferentes classes, isto é, o mesmo método apareceria em diferentes classes, violando assim o conceito de encapsulamento da orientação a objetos. O encapsulamento é ferido pois, foi verificado que a redundância desses métodos não pode ser caracterizada como sobrecarga de operadores.

Então nos casos onde este problema acontece o método em “conflito” entre as classes envolvidas pode ser renomeado de forma que receba um novo nome que signifique uma função mais específica associada ao PSpec que deu origem a este método. Isto é possível, pois um mesmo PSpec na maioria das vezes é composto de várias funções e cada uma delas tem um papel específico dependendo do pacote de equipamento que ele faz parte.

No caso da realização desse mapeamento utilizando como exemplo os serviços implementados no protótipo, existem dois casos onde acontece de um mesmo PSpec compor diferentes pacotes de equipamentos, conforme mostra a Figura 4.3, onde os processos em conflito recebem destaque em itálico. Esses Pspecs são o “Process Traffic Sensor Data”, presente nos pacotes de equipamentos *Observação Básica de Rodovia* e *Controle de Sinais de Rodovias*, e o “Process Traffic Data” presente nos pacotes de equipamentos *Coleta de Dados de Observação de Tráfego* e *Controle de Sinal do TMC*.

Então antes de adotar um Pspec como um método de uma classe, o mesmo deve ser dividido em subfunções cada qual correspondente ao seu respectivo pacote de equipamento, como representado na Figura 4.4 (a).

No desdobramento de funcionalidades dos processos segundo as especificações descritas na documentação da arquitetura lógica da NIA, obteve-se o seguinte: o PSpec “Process Traffic

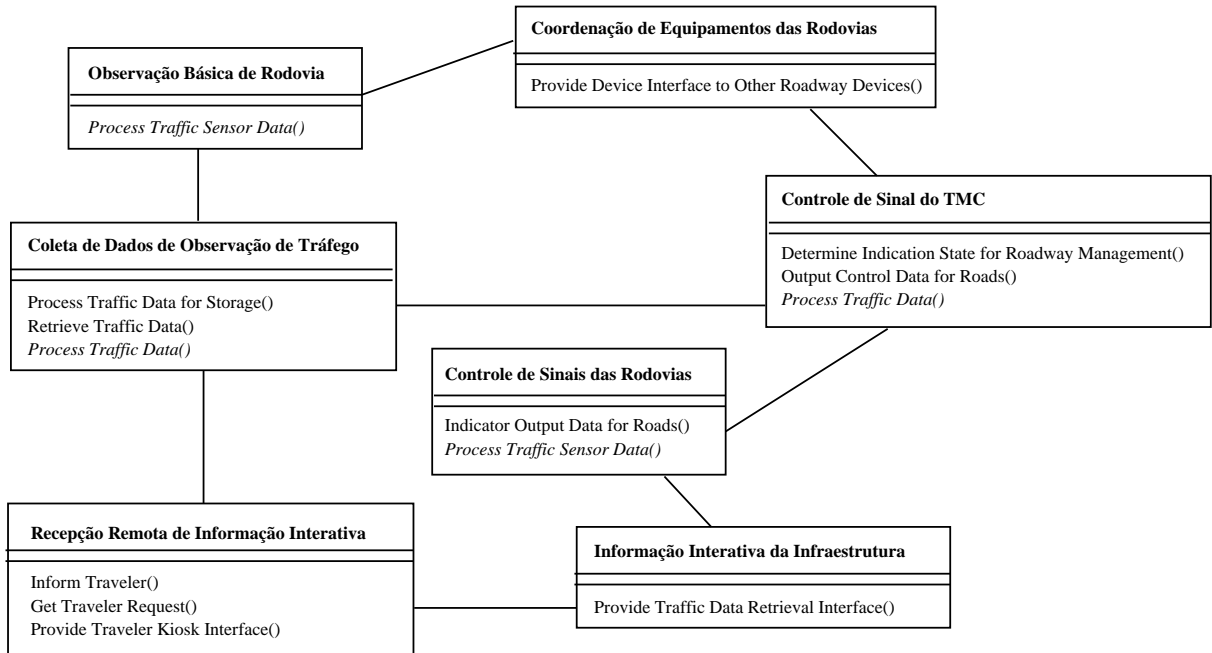


Figura 4.3: Diagrama de Classes com métodos em “conflito”.

Sensor Data” foi dividido em dois métodos que receberam os nomes de “Collect Traffic Sensor Data” e “Traffic Data for Distribution”, e o PSpec “Process Traffic Data” em dois outros métodos nomeados como “Convert Traffic Data for Storage” e “Traffic Data for Control”, conforme representado nas Figuras 4.4 (b) e (c).

O Diagrama de Classes final obtido após a resolução de conflitos utilizando processo de passagem dos pacotes de equipamentos para classes descrito acima é representado na Figura 4.5.

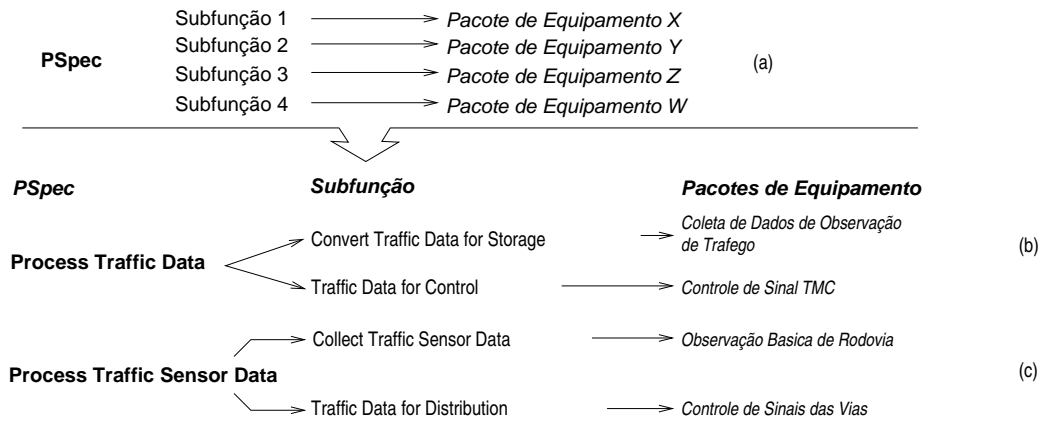


Figura 4.4: Divisão de um PSpec em subfunções.

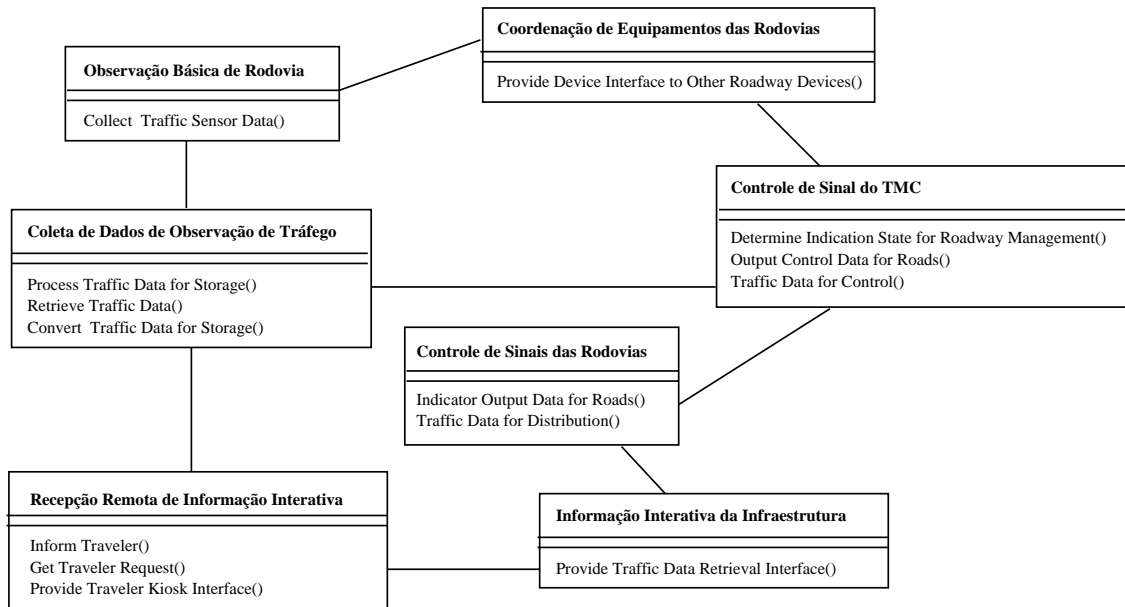


Figura 4.5: Diagrama de Classes obtido após a divisão em subfunções dos PSpecs.

Diagrama de Seqüência

Utilizando-se da experiência obtida na implementação do protótipo e na sua posterior representação em diagramas UML, o mapeamento dos diagramas da NIA para os diagramas de seqüência da UML, segue basicamente o mesmo processo descrito na seção 3.5, onde as seqüências de mensagens acontecem baseadas no diagrama de transações da NIA e as mensagens trocadas entre os objetos correspondem aos processos que ultrapassam os limites de um subsistema na troca de dados com outros processos. Entretanto, devido à renomeação ocorrida em alguns métodos durante o processo de definição das classes, caso eles estejam envolvidos nos fluxos de arquitetura devem ser considerados seus novos nomes para obter este mapeamento.

A partir dos diagramas de classe e de casos de uso e baseando-se no diagrama de transações da NIA, as seqüências de mensagens obtidas são representadas nos Diagramas de Seqüência a seguir apresentados nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8.

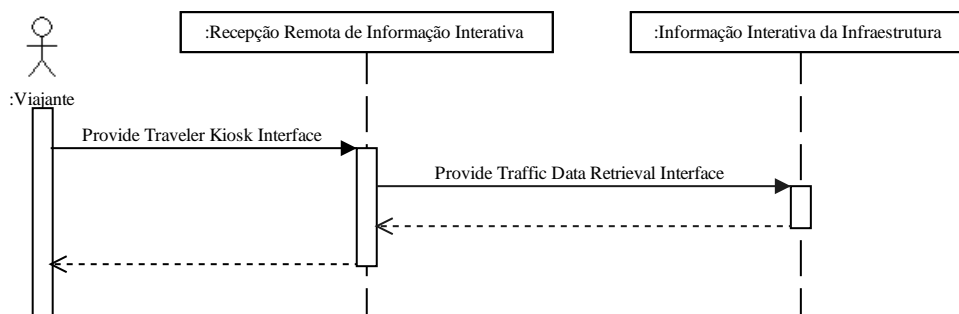


Figura 4.6: Diagrama de Seqüência do caso de uso “Acesso às informações sobre as condições de tráfego”.

As seqüências aqui apresentadas refletem os diagramas de seqüência do protótipo, representados nas Figuras 3.21, 3.22 e 3.23, diferenciando-se apenas pela nova definição das classes e pelas renomeações de métodos.

Diagrama de Atividades

A partir do diagrama de atividades é possível obter uma visão a respeito do comportamento dinâmico do software através da representação das seqüências de ações que acontecem tanto de forma seqüencial como paralela no fluxo de controle das atividades.

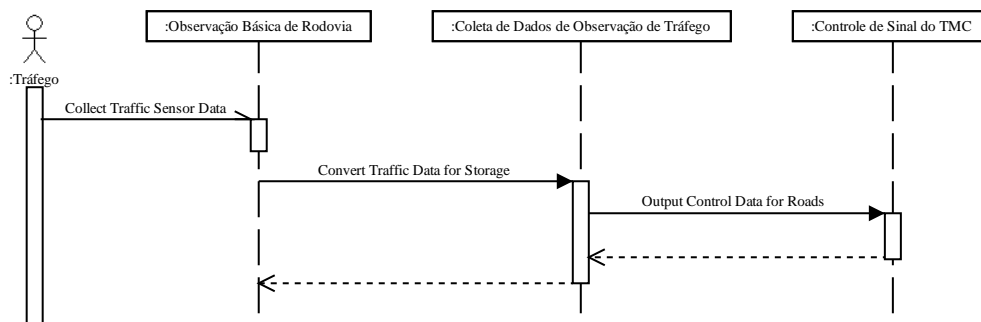


Figura 4.7: Diagrama de Seqüência do caso de uso “Determina estratégias de controle de tráfego”.

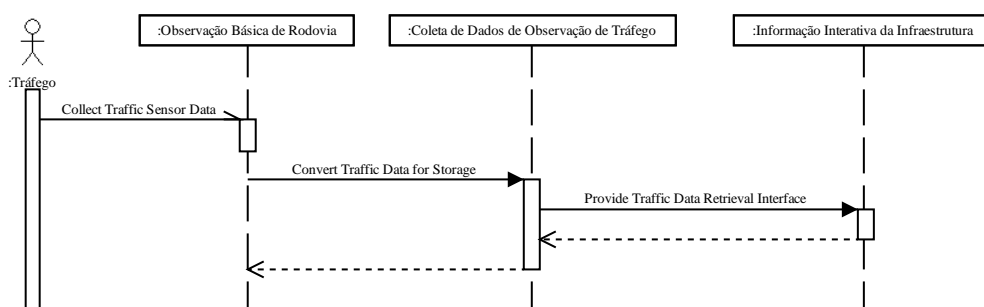


Figura 4.8: Diagrama de Seqüência do caso de uso “Fornece instrumentação das vias”.

Para se chegar nos diagramas de atividades o DFD apesar de representar uma visão estática dos fluxos de informações, enquanto um diagrama de atividades pretende representar a dinâmica, é de grande utilidade. Por outro lado as informações contidas no fluxo de dados no DFD informa a existência de atividades seqüenciais, paralelas, separação, junção e condição.

Além dos DFDs é necessário o conhecimento de um especialista no processo de construção do diagrama de atividades.

As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam o DFD e o correspondente diagrama de atividades obtido com a ajuda do DFD.

Em seguida, nas Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 são apresentados o DFD e os correspondentes diagramas de atividades obtidos com a ajuda do DFD.

Nestas últimas representações o DFD (Figura 4.11 gerou dois Diagramas de Atividades (Figuras 4.12 e 4.13), pois o processo “Process Traffic Data” possui fluxos de dados com destino a outros dois processos que têm propósitos distintos, não caracterizando assim a

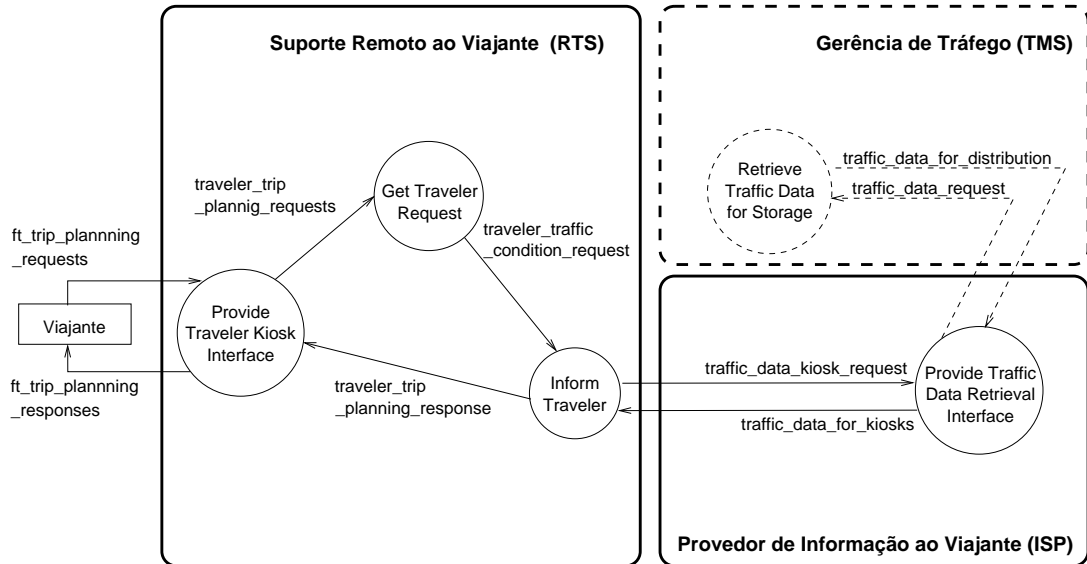


Figura 4.9: Diagrama de Fluxo de Dados do Serviço de Informação ao Viajante.

existência de subatividades. No caso se houvesse um objetivo comum entre esses processos se obteria a representação de um *fork*. Assim, não é possível determinar uma regra única para obtenção do diagrama de atividades, uma vez que para isso é necessária a compreensão e interpretação das especificações dos processos. Nos casos onde possam ocorrer os *forks* a junção (*joint*) desses deve ser caracterizada pela convergência de fluxos de dados provenientes de diferentes processos em um único processo comum.

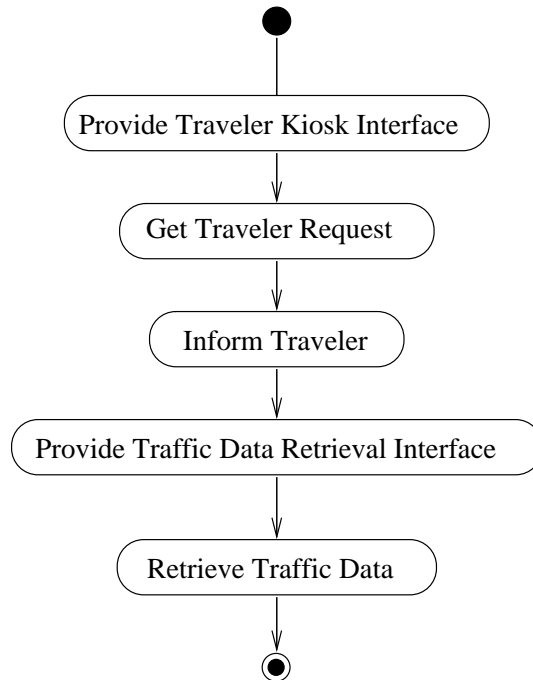


Figura 4.10: Diagrama de Atividades para o Serviço de Informação ao Viajante.

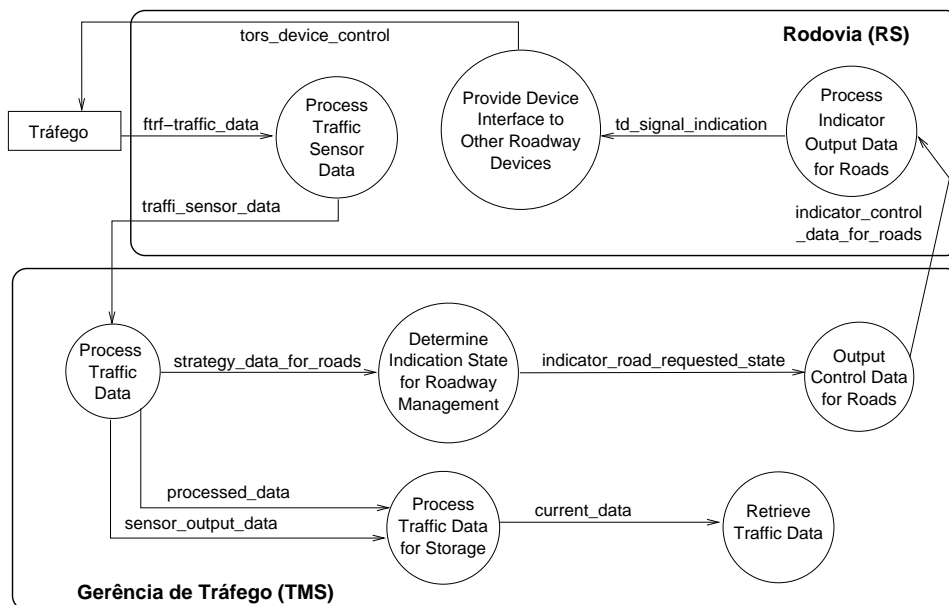


Figura 4.11: Diagrama de Fluxo de Dados do Serviço de Controle de Tráfego.

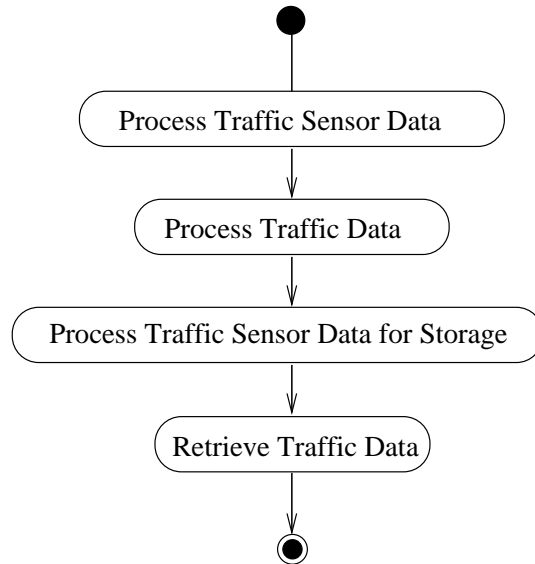


Figura 4.12: Diagrama de Atividades para o Serviço de Controle de Tráfego - Função de Observação e Disponibilização de Informação.

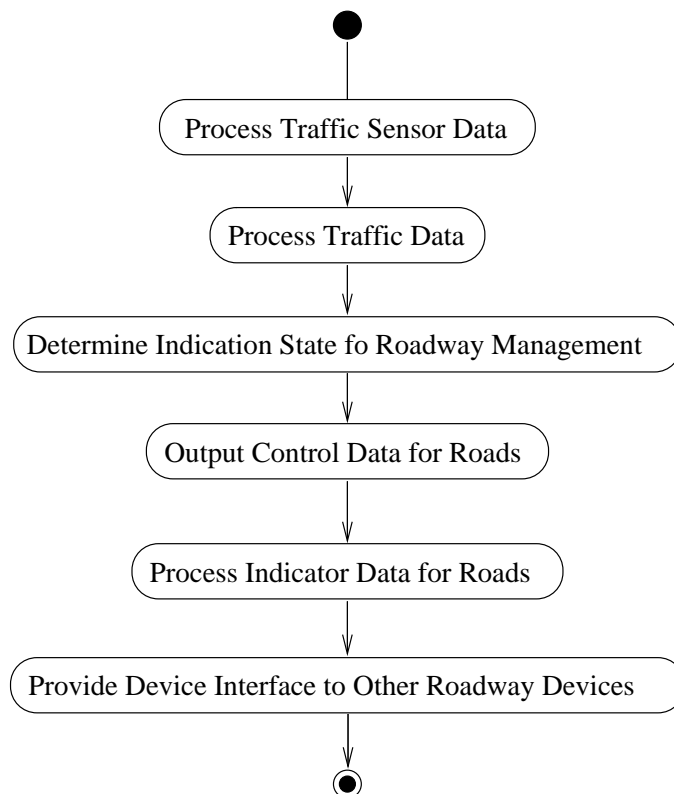


Figura 4.13: Diagrama de Atividades para o Serviço de Controle de Tráfego - Função de Controle.

Diagrama de Pacotes (*Packages*)

No capítulo anterior, foi levado em conta na realização da implementação do protótipo a orientação contida na documentação da NIA, onde sugere-se que cada subsistema possa ser visto como uma classe quando se visa implementações orientadas a objetos.

Contudo, quando se considera um subsistema como um único objeto perdem-se algumas características da metodologia orientada a objetos que a tornam interessante, como a reusabilidade e a manutenibilidade do software. Características como encapsulamento, herança e polimorfismo que permitem definir classes, são difíceis de ser visualizadas neste caso, uma vez que cada subsistema que compõe a arquitetura é completamente diferente dos demais, pois destinam-se à solução de diferentes categorias de problemas relacionados ao transporte de pessoas e mercadorias no espaço viário. Por este motivo escolheu-se para a metodologia proposta neste capítulo, traduzir os diagramas da NIA para os diagramas UML, partindo-se de composições mais atômicas da arquitetura, como os pacotes de equipamentos, para se obter uma representação mais próxima do conceito de classes.

A proposta para construir os Diagramas de Pacotes UML (*Package*) na metodologia, consiste em representar um subsistema como um Pacote UML (*Package*), e a interação entre os subsistemas através de um diagrama de pacotes. No contexto da UML os pacotes são um mecanismo utilizado para particionar e organizar os modelos, onde cada pacote corresponde a um subconjunto de modelos. Isto é, cada pacote é composto por seus próprios diagramas de classe, objetos, casos de uso, etc.

A seguir na Figura 4.14 é feita a representação do Diagrama de Pacotes utilizando a aplicação do protótipo implementado para ilustrar.

No diagrama de Pacotes é possível explicitar o fluxo de informação existente entre os pacotes definidos, representando o relacionamento que há entre eles. Na Figura 4.14 os fluxos de arquitetura extraídos da NIA foram representados explicitando esta troca de informações que acontece entre os subsistemas, aqui representados como pacotes.

Fazendo a relação entre os Pacotes UML e os demais diagramas UML obtidos até aqui tem-se que:

- *Rodovia*: é composto pelas classes Observação Básica de Rodovia, Controle de Sinais das Rodovias e Coordenação de Equipamentos das Rodovias (Figura 4.5); caso de uso “Fornece instrumentação das vias” (Figura 4.2); e sua respectiva seqüência de mensagens (Figura 4.8).

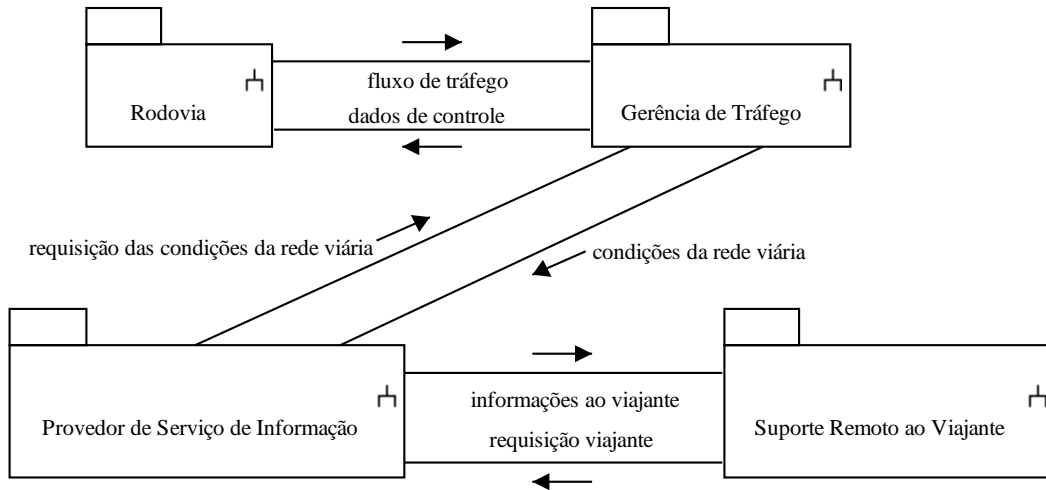


Figura 4.14: Diagrama de Pacotes.

- *Gerência de Tráfego*: é composto pelas classes Coleta de Dados de Observação de Tráfego e Controle de Sinal do TMC (Figura 4.5); caso de uso “Determina estratégias de controle de tráfego”(Figura 4.2); e sua respectiva seqüência de mensagens (Figura 4.7).
- *Provedor de Serviço de Informação*: é composto somente pela classe Informação Interativa da Infraestrutura (Figura 4.5).
- *Suporte Remoto ao Viajante*: é composto pela classe Recepção Remota de Informação Interativa (Figura 4.5); caso de uso “Acesso às informações sobre as condições de tráfego”(Figura 4.1); e sua respectiva seqüência de mensagens (Figura 4.6).

Diagrama de Implantação (*Deployment*)

O diagrama de implantação por se tratar de um diagrama que tem por objetivo representar os componentes físicos envolvidos na implantação da solução provida por um sistema, não possui nenhuma regra ou forma de tradução partindo das especificações da NIA.

No entanto, na documentação da NIA a respeito dos subsistemas que compõem sua arquitetura física, há indicações a respeito de subsistemas que podem co-existir num mesmo lugar ou computador ou em lugares diferentes. Isto pode auxiliar em relação à tomada de decisão quanto aos locais e formas mais adequadas de se implantar os sistemas desenvolvidos.

A geração deste diagrama vai depender portanto de como os usuários potenciais dos serviços vão desejar implantar a solução a ser desenvolvida.

Um aspecto interessante na representação fornecida por este diagrama é poder perceber mais claramente a característica de distribuição da NIA, onde cada nó definido pode significar recursos de hardware ou locais onde serão instalados os sistemas, além da multiplicidade representada através das associações entre os nós que possibilita quantificar esses recursos.

Para o exemplo do protótipo, na Figura 4.15, cada nó apresenta um local (agência pública ou privada) onde supostamente os subsistemas implementados estariam instalados. Nas ligações entre os nós são explicitados os grupos de protocolos definidos pela NIA para realizar a intercomunicação entre eles, lembrando que na implementação do protótipo esses protocolos não foram utilizados, pois alguns deles não são disponibilizados livremente e outros ainda estão em desenvolvimento.

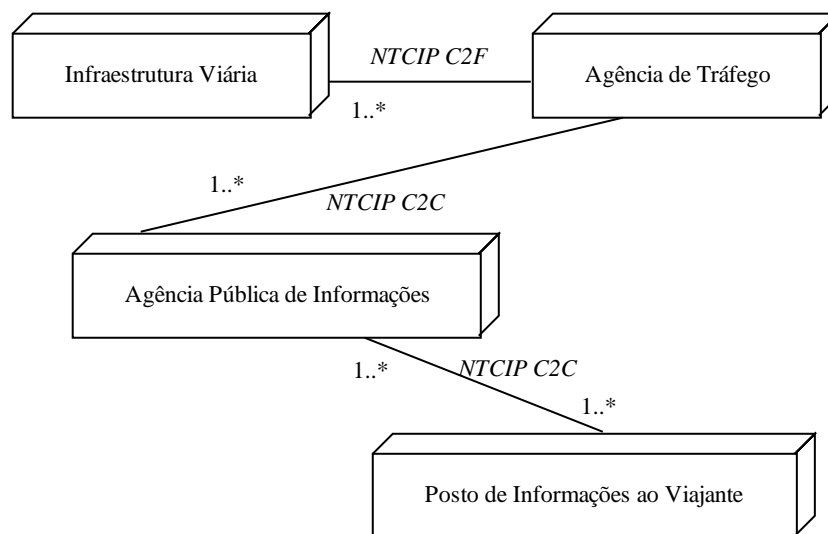


Figura 4.15: Diagrama de Implantação.

O nó infraestrutura viária está associado ao subsistema Rodovia, o nó agência de tráfego ao subsistema Gerência de Tráfego, o nó Agência Pública de Informação ao subsistema Provedor de Serviço de Informação e o nó Posto de Informações ao Viajante ao Suporte Remoto ao Viajante. O grupo de protocolos NTCIP C2C e NTCIP C2F correspondem aos conjuntos de protocolos definidos para realizar a comunicação *Center-to-Center* e *Center-to-Field* respectivamente. Na documentação da NIA são definidos que tipos de protocolos são utilizados na comunicação entre diferentes sistemas, o que pode ser encontrado em (Iteris, Inc. Lockheed

Martin, 2002d).

4.3 Resumo da Proposta Metodológica

Em linhas gerais a proposta para desenvolver Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) usando como referência a arquitetura de sistemas da NIA seguindo uma metodologia baseada na orientação a objetos pode ser sintetizada nos seguintes passos 4.16:

1. Inicialmente deve-se realizar a etapa de levantamento de requisitos, junto aos usuários do sistema.
2. Em seguida, baseando-se no levantamento de requisitos realizado, encontrar a correspondência entre esses requisitos e os serviços da NIA e suas relações. Partindo da identificação desses serviços, extrair os diagramas e especificações da NIA relacionados ao fornecimento desses serviços.
3. Traduzir as especificações e diagramas da NIA em diagramas UML. Na Figura 4.16 é apresentado um esquema relacionando os diagramas NIA que geram os diagramas UML.

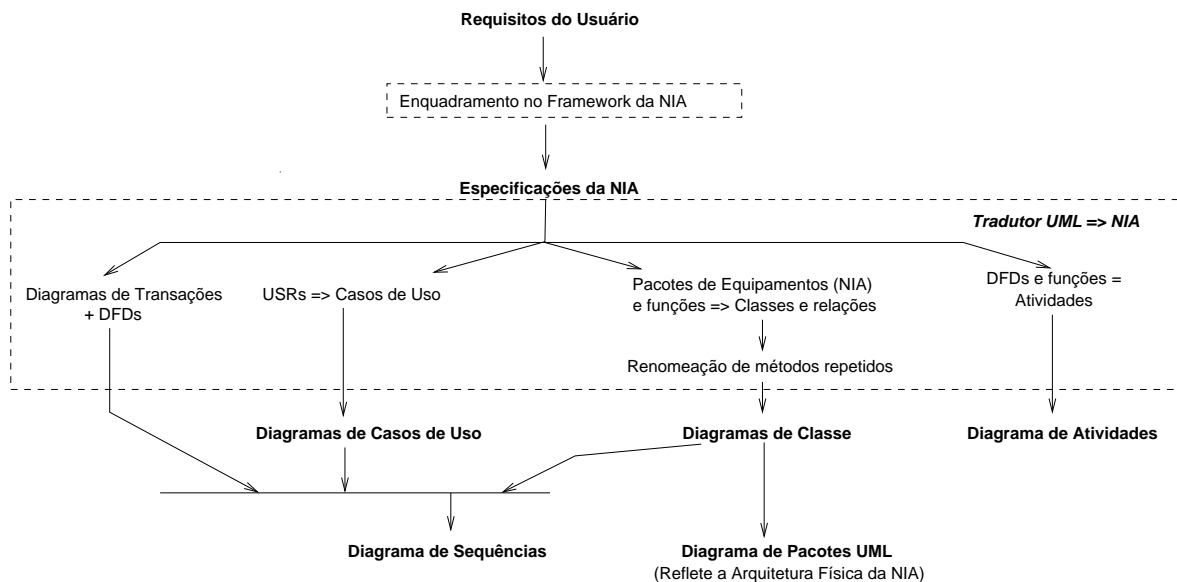


Figura 4.16: Esquema da Metodologia Proposta.

4.4 Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Utilizando esta Metodologia

A metodologia de desenvolvimento orientada a objetos proposta neste capítulo tratou sobretudo da questão relacionada à correspondência entre os diagramas e especificações da NIA com os diagramas UML e da tradução subsequente.

Tendo isto em vista, é possível se imaginar um ambiente de desenvolvimento que parte de especificações obtidas dos usuários e utilizando a metodologia proposta neste trabalho, leve “automaticamente” a uma implementação de software. Na Figura 4.17 é apresentado o esquema das ferramentas que compõem este ambiente e seu encadeamento.

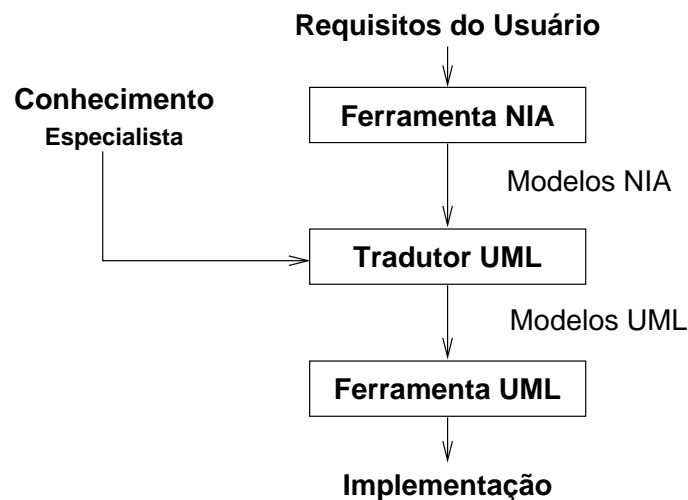


Figura 4.17: Esquema de um ambiente de desenvolvimento utilizando a metodologia proposta.

Neste ambiente de desenvolvimento os requisitos de usuários seriam fornecidos como entrada para uma ferramenta que seria responsável por realizar as extrações dos diagramas e especificações da NIA, os quais seriam as saídas dessa ferramenta. Pode-se imaginar inicialmente que a ferramenta *Turbo Architecture* projetada pelos idealizadores da NIA se enquadraria na realização desse processo, porém para desempenhar este papel a mesma deveria ser estendida. O *Turbo Architecture* não possui algumas representações importantes da NIA que são essenciais ao processo de tradução da NIA para UML, como é o caso dos DFDs e dos Diagramas de Transações.

Contudo, uma característica interessante presente no *Turbo Architecture* e que deve ser preservada e tratada pelas ferramentas que fazem parte do ambiente integrado de desenvolvimento proposto é flexibilidade. Essa flexibilidade existe no sentido de permitir que elementos não previstos pela NIA possam ser incorporados, uma vez que, cada cidade ou região, possui

características próprias, e que, não é possível prever todas as peculiaridades de diferentes lugares dentro de uma arquitetura de sistemas.

Prosseguindo na descrição do ambiente de desenvolvimento, as representações da NIA obtidas na etapa anterior seriam fornecidas então a uma ferramenta responsável pela tradução dessas representações para os diagramas UML, seguindo o processo descrito na metodologia proposta por este trabalho.

No passo seguinte os diagramas UML obtidos seriam dados como entrada para uma ferramenta UML já existente, chegando-se assim à geração de códigos de implementação nas linguagens de programação suportadas pela ferramenta UML adotada.

4.5 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a metodologia de desenvolvimento de ITS baseados no *framework* proposto pela NIA, utilizando para fins ilustrativos os serviços implementados no protótipo desenvolvido.

A metodologia descrita faz uso da UML como ferramenta no processo de desenvolvimento, com a finalidade de se utilizar assim um processo de desenvolvimento orientado a objetos. A finalidade central da descrição dessa metodologia foi chegar aos diagramas da UML, partindo das especificações da arquitetura de sistemas inteligentes de transporte utilizada, a NIA. Neste capítulo foi destacado o processo que consiste na tradução das representações da NIA em representações correspondentes nos diagramas UML.

O objetivo de propor uma metodologia orientada a objetos utilizando as notações da UML é fornecer as várias visões que podem ser obtidas através dos seus diferentes diagramas, além do apoio ao processo de desenvolvimento orientado a objetos que acima de tudo visa características de qualidade de software. Entre essas características de qualidade estão envolvidas questões relacionadas à reusabilidade e manutenibilidade, as quais podem facilmente ser alcançadas com o uso da orientação a objetos.

Capítulo 5

Conclusão

A questão da mobilidade urbana envolve inúmeros fatores relacionados ao fornecimento adequado de locomoção de pessoas e mercadorias que trazem consigo implicações sobre a qualidade de vida que a eficiência dos transportes, sobretudo os públicos e coletivos, pode prover.

Trata-se de uma questão ampla que deve envolver a conscientização da população e o compromisso de instituições públicas e privadas, que devem ter em mente seu papel diante da crescente problemática de mobilidade nos centros urbanos.

As pesquisas e aplicações dos ITS têm crescido em busca da solução de muitos dos problemas relacionados à mobilidade. Este trabalho procurou neste mesmo sentido trazer contribuições nesta área, utilizando-se como referência uma arquitetura definida para desenvolvimento de *Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)*.

Inicialmente neste trabalho (Capítulo 1), foi dada uma visão geral relacionada aos problemas de mobilidade de pessoas e mercadorias em centros urbanos, assim como, a complexidade que envolve a solução desses problemas. Em seguida, foi apresentado como esses problemas têm sido solucionados através do uso de ITS em alguns países do mundo. A partir disso, foi feita uma breve introdução sobre padrões de arquiteturas de software e porque são de interesse no desenvolvimento de ITS.

Em seguida, no Capítulo 2, a arquitetura norte-americana NIA, que foi adotada como uma arquitetura de referência, foi apresentada a fim de que se pudesse compreender sua estrutura e organização.

A partir dessa compreensão obtida da NIA, construiu-se um protótipo que implementa um serviço de usuário, segundo o seu próprio *framework*, o qual foi descrito no capítulo 3.

Tendo em vista que, as representações e notações utilizadas pela NIA utilizam o paradigma estruturado, no capítulo 4, é apresentada uma proposta de metodologia de desenvolvimento de ITS segundo a NIA, porém utilizando o paradigma orientado a objetos. O uso de metodologias de desenvolvimento baseadas na orientação a objetos permite obter visões diferentes do sistema para os vários interessados nele.

Como resultados obtidos neste trabalho estão: (1) Um estudo sobre a arquitetura de ITS norte-americana NIA, onde foram levantados seus aspectos conceituais e características chegando-se na compreensão da mesma; (2) Partindo dessa compreensão obtida da NIA foi feita uma implementação distribuída orientada a objetos de alguns dos serviços relacionados pela NIA na forma de um protótipo; (3) Uma Proposta de Metodologia para o desenvolvimento orientado a objetos de sistemas baseados na NIA, destacando principalmente o fato de se ter chegado a uma correspondência entre os modelos e especificações da NIA com os diagramas da UML; (4) Uma proposta de um futuro ambiente integrado de desenvolvimento.

Um passo seguinte a este seria realizar testes exaustivos sobre a metodologia proposta na implementação de diferentes serviços NIA aplicados a diferentes propósitos para se obter uma validação da mesma.

Dentro da perspectiva de propor trabalhos futuros pode-se destacar o desenvolvimento de um ambiente integrado de desenvolvimento, seguindo a representação e descrição feitas na seção 4.4, onde o processo de desenvolvimento de Sistemas Inteligentes de Transporte seguindo o *framework* definido pela NIA poderia ser automatizado.

Embora o *Turbo Architecture* não se adeque exatamente ao ambiente proposto, o mesmo poderia ser utilizado na construção de um primeiro protótipo, como base para a construção de uma Ferramenta NIA que gerasse como saída as representações necessárias para se chegar nos modelos UML, ou caso seja possível, adaptá-la para gerar essas saídas.

Apêndice A

Descrição dos processos em alto nível de abstração da Arquitetura Lógica

1. Gerencia o Tráfego: este processo tem por finalidade descrever as funções relacionadas à gerência de tráfego, que consistem no fornecimento de facilidades de gerenciamento do fluxo de tráfego em uma determinada região. Para isso, alguns pontos chaves devem ser considerados, como: coleta de dados a partir de equipamentos instalados nas vias e de outros ITS, respostas pré-definidas à gerência de incidentes e de demanda, monitoração do grau de poluição emitida em determinadas áreas e por veículos individuais, controle e monitoração de interseções, e a troca de informações com funções de gerenciamento de outras regiões. Os serviços de usuários relacionados a este processo são os seguintes:
 - Informações prévias de viagem
 - Informação para motoristas em rota
 - Serviços de informação aos viajantes
 - Controle de tráfego
 - Gerência de incidentes
 - Gerência de demanda de viagens
 - Teste de emissões
 - Serviços de pagamento eletrônico
 - Função de armazenamento de dados
 - Operações de manutenção e construção

2. Gerencia Veículos Comerciais: este processo descreve funções relacionadas ao fornecimento de facilidades no gerenciamento de veículos comerciais através de, por exemplo, credenciais eletrônicas, verificação de segurança e movimentação da frota. Os serviços de usuários relacionados a este processo são todos aqueles definidos no pacote de serviços identificado por Operação de Veículos Comerciais.
3. Fornece Monitoração e Controle de Veículos: este processo descreve as funções relacionadas ao fornecimento de facilidades no controle automatizado de veículos. Para isso, alguns pontos devem ser considerados, como, notificação automática aos serviços de emergência quando o veículo está envolvido em alguma colisão, controle de veículos nos níveis básico e avançado, cancelamento do controle automático do veículo por ação do motorista ou por falha no sistema de operação. Os serviços de usuários atendidos por este processo são os seguintes:
 - Controle de tráfego
 - Notificação de emergência e segurança pessoal
 - Todos os serviços dos pacotes: Controle Avançado de Veículos e Sistemas de Segurança e Gerência de Construção e Manutenção.
4. Gerencia Ônibus: este processo descreve as funções aplicadas aos serviços de rotas fixas de ônibus, mais a provisão flexível de serviço de ônibus ajustado à sua demanda. Além disso, deve interagir com outras funções como, a que Gerencia o Tráfego e a que Fornece Serviços a Viajantes e Motoristas. Para isso, alguns pontos devem ser considerados, como: monitoração do veículo (ônibus) através de equipamentos *on-board*, escala de manutenção dos ônibus, coleta de tarifa dentro e fora do veículo, dados de aproximação de veículos, coordenação e monitoração, entre outros. Dentre os serviços de usuários relacionados a este processo estão todos aqueles incluídos no pacote de serviços denominado Operação de Transportes Públicos.
5. Gerencia Serviços de Emergência: este processo descreve as funções relacionadas ao pacote de serviços Gerência de Emergências. Dentre as funções desempenhadas pela gerência de emergência estão, respostas a incidentes e a comunicação com agências legais (departamentos de polícia, por exemplo), além do fornecimento de uma interface com a função que Gerencia o Tráfego, para a coordenação das funções relacionadas à resolução de incidentes. Entre os pontos que precisam ser considerados no desempenho desta função, são citados: chamada automática de serviços de emergência no atendimento de um incidente, a coordenação entre os diversos sistemas de emergência que possam existir, interrupção de vias e fornecimento de rotas alternativas àquela onde ocorreu o incidente. Os serviços de usuários atendidos pelas funções definidas neste processo são:

- Controle de tráfego
 - Segurança de viagens em transportes públicos
 - Serviços de pagamento eletrônico
 - Monitoração de segurança *on-board*
 - Resposta a incidentes com materiais perigosos
 - Gerência de frota comercial
 - Todos os serviços dos pacotes: Gerência de Emergências, Gerência de Informação e Gerência de Construção e Manutenção
6. Fornece Serviços a Viajantes e Motoristas: as funções descritas neste processo compreendem o planejamento de viagens multi-modais, orientação de rotas, além do fornecimento de informações sobre acidentes, para todos os tipos de viajantes e motoristas. Alguns dos pontos a serem considerados no fornecimento dos serviços atendidos por este processo são: a possibilidade dos viajantes planejarem e confirmarem viagens multi-modais, fornecimento de informações de tráfego por viajantes e motoristas em rota, obtenção de informações sobre eventos por meio dos viajantes, notificações a respeito de desastres naturais, entre outros. As funções descritas neste processo envolvem o atendimento dos seguintes serviços:
- Informações prévias de viagem
 - Informações para motoristas em rota
 - Orientação de rotas
 - Combinação de transportes e reservas
 - Serviços de informação aos viajantes
 - Informação de ônibus em trânsito
 - Notificação de emergência e segurança pessoal
7. Fornece Serviços de Pagamento Eletrônico: as funções descritas neste processo têm por responsabilidade atender especificamente o pacote de serviços de Pagamento Eletrônico, habilitando motoristas e viajantes a pagarem por suas viagens e outros serviços disponíveis no seu percurso de viagem. Alguns pontos a serem considerados no fornecimento desses serviços são: não serem necessárias paradas para o pagamento de tarifas (por exemplo: tarifas de estacionamento ou pedágios), fornecer imagens de quem realizou pagamentos inválidos, o fornecimento de apenas um dado de identificação do motorista para o pagamento de tarifas.

8. Gerencia Dados Armazenados: as funções descritas por este processo são direcionadas ao pacote de serviço de Gerência da Informação, que tem por objetivo prover facilidades na coleta de dados de ITS, armazená-los e disponibilizá-los a outros sistemas, para uso na administração de transportes, segurança, planejamento, etc. Alguns dos pontos a serem considerados no fornecimento deste pacote de serviço são: a coleta de dados de cada função ITS responsável por atividades de gerência, armazenamento dos dados coletados, provisão da segurança aos dados armazenados, coordenação com outros depósitos de dados para que possam ser compartilhados por vários lugares, entre outros.
9. Gerencia Manutenção e Construção: as funções descritas por este processo são responsáveis por atender especificamente o pacote de serviços de Gerência de Construção e Manutenção, que tem por finalidade gerenciar atividades de construção e manutenção das vias, disseminação de planos de trabalho, condições das vias e condições de ambiente a outras funções de transporte. Dentre os pontos a serem considerados no fornecimento deste pacote de serviço estão: tratamento de rodovias automatizadas, informações de segurança e das condições de operação monitoradas por veículos de manutenção e segurança, intrusão de veículos em áreas de manutenção, entre outros.

Apêndice B

Especificação de Processos e Dicionário de Dados

B.1 PSpecs

O termo PSpec é utilizado na NIA para se referir à especificação de um processo. Seguem abaixo as especificações dos processos do mais baixo nível de abstração da Arquitetura Lógica envolvidos no desenvolvimento do protótipo:

- **Process Traffic Sensor Data:** coleta dados dos sensores e outros equipamentos instalados nas vias.
- **Process Traffic Data:** recebe e processa dados dos sensores das vias. Este processo distribui dados aos processos de controle de dispositivos que são responsáveis pela gerência de interseções e estacionamentos. Ele também envia dados a processos que fornecem a situação da via para serem carregados nos bancos de dados correntes e de longo prazo.
- **Process Traffic Data for Storage:** armazena os dados brutos e processados obtidos a partir da leitura dos sensores.
- **Retrieve Traffic Data:** distribui dados de tráfego para outros ITS e terminadores dentro dos limites da arquitetura. Este processo captura os dados armazenados por outros processos que armazenam a situação corrente da via, respondendo a requisições de outros processos.

- **Provide Traffic Data Retrieval Interface:** recebe parâmetros que vão definir exatamente quais dados serão devolvidos a cada requisição.
- **Inform Traveler:** requisita informações a outros ITS para enviá-las como resultado a outros processos.
- **Provide Traveler Kiosk Interface:** fornece a interface através da qual os viajantes podem enviar requisições por informações e recebê-las.
- **Get Traveler Request:** recebe os dados de entrada de um viajante em um quiosque e envia seu pedido a processos apropriados dentro do fornecedor de serviços a viajantes e motoristas.
- **Determine Indication State for Roadway Management:** implementa as estratégias de controle selecionadas e prioridades a ônibus em alguns ou todos os indicadores semafóricos que convergem para a rede viária servida pela gerência de tráfego.
- **Output Control Data for Roads:** envia dados aos processos responsáveis pelo controle dos equipamentos localizados na via gerida pela função de gerência de tráfego.
- **Process Indicator Output Data for Roads:** processa a saída dos dados de indicações geradas por outros processos dentro da função de gerência de tráfego. Este processo também é responsável por monitorar o *status* dos equipamentos instalados, que são enviados à função de gerência de manutenção e construção.
- **Provide Device Interface to Other Roadway Devices:** fornece a interface com os dispositivos instalados nas vias para troca de dados, *status* e controle.

B.2 Dicionário de Dados

- **ftrf_traffic_data:** este fluxo de dado é utilizado na função de gerência de tráfego. Contém dados a respeito da presença de tráfego nas estradas e rodovias, tais como, velocidade dos veículos, número de veículos, volume de fluxo, os quais podem ser obtidos por sensores dos ITS.
- **traffic_sensor_data:** este fluxo de dados é usado na função de gerência de tráfego e contém dados obtidos pelo processamento dos dados fornecidos pelos sensores instalados nas vias.
- **processed_data:** este fluxo de dados é utilizado na função de gerência de tráfego e contém dados dos sensores de tráfego que já foram processados os quais serão armazenados tanto numa base de dados correntes, quanto na base de dados históricos.
- **sensor_output_data:** este fluxo de dados é usado na função de gerência de tráfego e contém informações obtidas por dados analisados pelos sensores de tráfego. É enviado ao processo de armazenagem de dados de tráfego correntes e de longo prazo.
- **current_data:** este fluxo de dados é utilizado na função de gerência de tráfego para armazenar dados sobre o atual estado de tráfego na via e da rede viária. É uma amostragem do tráfego em um instante e é atualizado periodicamente por dados coletados por outros processos, tanto na sua própria, quanto em outras funções ITS.
- **traffic_data_distribution_request:** este fluxo de dados contém uma requisição de um dado em particular a ser recuperado dos dados correntes ou de longo prazo e dos dados preditivos de tráfego. A requisição ocorre em resposta a uma variedade de requisições recebidas dos usuários de ITS.
- **traffic_data_for_distribution:** este fluxo de dados é usado na função de gerenciamento de tráfego. Contém a resposta à requisição de um dado em particular a ser recuperado dos dados de tráfego correntes ou de longo prazo e do modelo de dados preditivos. Este dado será usado como base para as informações de tráfego que é fornecida para outros ITS.
- **traffic_data_kiosk_request:** este fluxo de dados é enviado pelo Provedor de Serviços a Viajantes para a função de gerência de tráfego e contém a requisição para a provisão dos dados de tráfego que serão enviadas a um quiosque.
- **traffic_data_for_kiosks:** este fluxo de dados é enviado pela gerência de tráfego ao Provedor de Serviços a Viajantes e Motoristas. É usado para prover dados do fluxo de

tráfego da rodovia, mais aqueles que são preditivos ao fluxo na rede viária, como saída em um quiosque.

- **traveler_traffic_condition_request:** este fluxo de dados é utilizado pelo provedor de serviços aos viajantes de motoristas e contém dados detalhados a respeito do tipo de informação requisitada por um viajante em um quiosque.
- **traveler_trip_planning_responses:** este fluxo de dados é usado no provedor de serviço de informação a viajantes de motoristas e contém respostas às várias requisições para informação e serviços de planejamento de viagens previamente dados como entrada por um viajante em um quiosque. O dados responderá apenas aqueles serviços necessários para atender completamente às requisições do viajante. Se a entrada anterior do viajante foi uma confirmação de viagem, o dado incluirá a identificação do cartão de crédito e o valor fornecido como instrumento de pagamento pelo viajante.
- **traveler_trip_planning_responses:** este fluxo de dados é provedor de serviços a viajantes e motoristas e contém dados que o viajante forneceu através de um quiosque para que a viagem pudesse ser planejada ou informações gerais de viagem.
- **ft_trip_planning_requests:** este fluxo de dados é enviado do viajante ao provedor de serviços a viajantes e motoristas e contém entradas de cada viagem requisitada através do quiosque pelo viajante que pode ser definida.
- **tt_trip_planning_responses:** este fluxo de dados é usado como parte da interface fornecida ao viajante pelo provedor de serviços a viajantes e motoristas. Ele contém o resultado das requisições por mais dados sobre a viagem a qual é requisitada pelo viajante através de um quiosque.
- **strategy_data_for_roads:** este fluxo de dados é usado na gerência de tráfego, contendo os dados de tráfego e de pedestres, mais dados a respeito de cruzamentos multimodais, os quais são usados para determinar a estratégia de controle de tráfego a rede viária.
- **indicator_road_requested_state:** este fluxo de dados é usado pela gerência de tráfego e contém o estado atual de operação de um indicador usado para instruções de passagem de motoristas e viajantes na rede viária. A forma de indicação apresentada aos motoristas depende do tipo de indicador utilizado.
- **indicator_control_data_for_roads:** este fluxo de dados é usado pela gerência de tráfego e contém dados do estado atual dos quais instruções aos motoristas e viajantes podem ser produzidas pelos indicadores das vias em áreas geográficas e/ou jurisdições as quais coordena.

- **td_signal_indication:** este fluxo de dados é enviado ao motorista pela gerência de tráfego e contém instruções para os motoristas pararem seu veículos (sinal vermelho), prepararem seus veículos para parar (sinal amarelo), ou para prosseguir ao longo da via (sinal verde).
- **tors_device_control:** este fluxo de dados é enviado a um terminador da rodovia e contém a informação de controle de indicação. É utilizado para a coordenação entre pontos de indicações ou para a transferência entre dispositivos que funcionam segundo uma estrutura hierárquica.

Apêndice C

Fluxos de Arquitetura do Protótipo

A troca de informações no nível de subsistemas é chamada pela NIA de Fluxo de Arquitetura, sendo assim, para cada fluxo de arquitetura estão associados conjuntos de fluxos de dados. Abaixo são descritos os fluxos de arquitetura presentes no protótipo implementado neste trabalho.

1. **traffic flow:** dados processados ou não dos detectores de tráfego os quais permitem derivações das variáveis de fluxos de dados (por exemplo: velocidade, volume, e medidas de densidade) e informações associadas (por exemplo: congestionamentos, incidentes em potencial).

Fluxos de dados:

- incident_analysis_data
- traffic_sensor_status
- traffic_sensor_fault_data
- traffic_sensor_data
- traffic_image_data

2. **road network conditions:** informações do tráfego corrente ou de previsão, condições da via e do tempo, informações sobre incidentes, e outros estados da rede viária.

Fluxos de dados:

- traffic_data_for_distribution
- sensor_data_for_distribution
- prediction_data

- planned_event
- link_data_for_guidance
- current_road_network_state
- current_highway_network_state

3. **request for road network conditions:** requisições por informações de tráfego, condições das vias, informações de incidentes e outros estados da rede viária.

Fluxos de dados:

- traffic_data_distribution_request

4. **traveler information:** informações do viajante que compreendem estado do tráfego, incidentes, informações de pagamento e outras atualizações e confirmações de dados relacionados ao viajante.

Fluxo de dados:

- traveler_transaction_confirmation
- traveler_payment_confirmation
- traveler_event_information
- transit_deviations_for_kiosks
- advanced_tolls_and_changes_roadside_confirm

5. **traveler request:** requisição feita pelo viajante para fazer pedidos de informação, efetuar reservas, ou para iniciar algum outro serviço ao viajante.

Fluxo de dados:

- traveler_yellow_pages_information_request
- traveler_transaction_request
- traveler_payment_information
- traveler_event_information_request
- traveler_current_condition_request
- transit_deviation_kiosk_request
- traffic_data_kiosk_request
- advanced_tolls_and_charges_roadside_request

Apêndice D

Modelo de Tráfego

No modelo de tráfego PROLYN são considerados instantes de tempo t , (instante de amostra), espaçadas em um período constante T . O fluxo de veículos em uma rede é modelado através de equações de estado. Estas variáveis representam o estado dos semáforos e das vias. Para os semáforos tem-se:

$$E^i = \begin{bmatrix} v^i(t) \\ w^i(t) \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, I (I = \text{número de interseções}) \quad (\text{D.1})$$

onde:

$v^i(t)$ - estágio vigente de cada interseção;

$w^i(t)$ - tempo em que cada estágio está vigente.

A evolução do estágio vigente é dada por:

$$v^i(t+1) = u^i(t). \quad (\text{D.2})$$

A variável $u^i(t)$ é o valor de controle a ser aplicado ao período subsequente, com $u^i(t) \in \{0, 1\}$. Por simplicidade 0 indica sinal fechado, na via principal, e 1 indica sinal aberto, supõe-se que os semáforos admitem somente duas fases.

O tempo de vigência de um mesmo estágio, medido em termos de número de períodos sem mudança, é dado por:

$$w^i(t+1) = \begin{cases} w^i(t) + 1 & \text{se } u^i(t) = v^i(t) \\ 0 & \text{se } u^i(t) \neq v^i(t) \end{cases} \quad (\text{D.3})$$

As variáveis de estado associadas às vias são:

$$E^v = \begin{bmatrix} x^l(t) \\ a_j^l(t) \end{bmatrix}, \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (\text{D.4})$$

onde,

L - número de vias;

J - número de seções da via;

$m^l(t)$ - fator que caracteriza a descarga da fila, $m^l(t) \in \{0,1\}$;

$x^l(t)$ - fila formada na linha de parada;

$a_j^l(t)$ - número de veículos em velocidade livre que trafegam na j^{th} seção de uma via.

Para sistemas viários de 2 fases, supondo o tempo perdido na transição dispensável, o fator de descarga é definido como:

$$\begin{aligned} m^l(t) &= v^i(t), \text{ para as vias arteriais, e} \\ m^l(t) &= \sim v^i(t), \text{ para as vias secundárias,} \end{aligned} \quad (\text{D.5})$$

onde “ \sim ” representa o operador complemento binário.

De modo geral $m^l(t)$ depende do conjunto de conflitos na interseção, para semáforos com um número maior de fases implicaria em:

$$m^l(t) = f(v^i(t)), \quad (\text{D.6})$$

onde $f(\cdot)$ representa uma tabela de estágios de cada fase.

A fila em uma via tem uma evolução temporal dada por:

$$x^l(t+1) = \text{Max}0, x^l(t) + a_1^l(t) - s^l * m^l(t), \quad (\text{D.7})$$

onde s^l é o fluxo de saturação, isto é, a máxima taxa de descarga da fila.

Os veículos que trafegam em velocidade livre são caracterizados pelas posições que ocupam no período vigente. Estas, por sua vez, são representadas em termos de seções da via $a_j^l(t)$,

definidas de tal forma que a passagem de uma seção para a seguinte é feita em exatamente um período amostral, considerando-se a velocidade de percurso livre.

Portanto, o número de seções Na é proporcional ao comprimento L da via e inversamente proporcional à distância percorrida durante um período:

$$Na = L/(v * T), \quad (\text{D.8})$$

onde, v é a velocidade livre de percurso.

O comprimento de uma via em geral não corresponde a um número inteiro de seções. Neste caso tem-se $N(l)$ o número seções inteiras de uma via; $N(l) = \text{trunc}(Na)$. A seção não inteira da via é dada por $N(l) + 1$, subdividida em $r(l)$ (a parte que pertence a via) e $1 - r(l)$, (a parte que encontra-se fora do limite da via) como apresentado na Figura D.1.

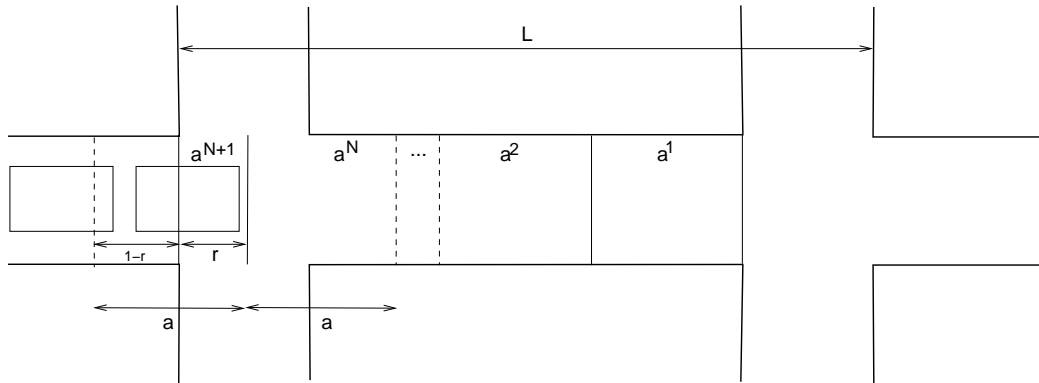


Figura D.1: Seções de um arco (Galvão e Kraus, 2003)

A evolução da ocupação de veículos que trafegam em velocidade livre ao longo das seções de 1 a N de uma via, é dada por:

$$a_j^l(t + 1) = a_{j+1}^l(t), j = 1, \dots, N(l) - 1 \quad (\text{D.9})$$

Para as seções $N(l)$ e $N(l) + 1$, a evolução é dada por:

$$a_{N(l)}^l(t + 1) = a_{N(l)+1}^l(t) + [1 - r(l)]z^l(t), \quad (\text{D.10})$$

$$a_{N(l)+1}^l(t + 1) = r(l)z^l(t), \quad (\text{D.11})$$

onde $z^l(t)$ é o fluxo de veículos no início da via, a montante da interseção.

A ocupação de veículos na seção $N(l)$, no instante $(t+1)$, é feita considerando a ocupação da seção $N(l)+1$ e a ocupação de veículos que estão no segmento $(1-r(l))$, como mostra a equação D.10.

Para a seção $N(l)+1$, no instante $(t+1)$, a evolução da ocupação de veículos considera os veículos que estão chegando na interseção fora do limite da via, no período anterior, conforme equação D.11.

Os fluxos de veículos $z^l(t)$ são modelados de duas formas. Para as vias alimentadas por filas a montante, tem-se:

$$z^l(t) = \sum_l p^{ll} * (\min(x^l(t) + a_1^l(t), s^l * m^l(t))) \quad (\text{D.12})$$

onde, p^{ll} é a proporção de veículos que convergem das filas para a via a jusante.

Para as vias de entrada, $z^l(t)$ é simplesmente o resultado da contagem veicular.

O desempenho de um modelo dinâmico, pode ser aferido pelo atraso acumulado dos veículos, dado por:

$$d^l = \frac{T}{2} \sum_{\varepsilon=1}^{\infty} (x^l(\varepsilon) + x^l(\varepsilon-1)) \quad (\text{D.13})$$

onde, d^l é o atraso de uma via.

O atraso global é representado por:

$$D = \sum_{l=1}^L d^l \quad (\text{D.14})$$

Referências Bibliográficas

- Andeli, J. (1989). Advanced vehicle/highway systems and urban traffic problems. OTA publications.
- Araujo, A. P. M., Kraus, W., e Farines, J. M. (2002). Sistema de informação em transportes baseado na national its architecture. In *Relatório de Teses e Dissertações*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Agência Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- Black, W. R. (2000). Social change and sustainable transport. A Summary of Workshop and Conference Activities, Research Needs an Future Directions.
- Brooks, F. P. (1975). *The Mythical Man-Month - Essays on Software Engineering*. Addison-Wesley.
- European Commission an European ITS Industry (1991). Ertico - european road transport telematics implementation coordination organization. <http://www.ertico.com/>. Disponível na Internet.
- Farges, J. L., Kamdem, I., e Lesort, J. B. (1991). Realization and test of a prototype for real time urban traffic control. Drive Project V1022.
- Farines, J. M. e Kraus, W. (2003). Sistema de informação e controle para mobilidade urbana. <http://www.das.ufsc.br/sincmobil>. Disponível na Internet.
- Galvão, S. e Kraus, W. (2003). Um algoritmo de busca em profundidade para controle Ótimo em tempo real de tráfego urbano. Qualificação de Doutorado.
- IONA (2000). Orbacus. <http://www.orbacus.com>. Disponível na Internet.
- IONA (2002). Iona making software work together. <http://www.iona.com>. Disponível na Internet.
- Iteris (2003). Turbo architecture. CD-ROM.

- Iteris, I. L. M. (1999). National its architecture - the concept. *ITE Journal*, pages 9–12.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002a). Executive summary. <http://itsarch.iteris.com/itsarch>.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002b). Its logical architecture. <http://itsarch.iteris.com/itsarch>. vol. I.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002c). Its mission definition. <http://itsarch.iteris.com/itsarch>. pages 2-6, 80-85.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002d). Its physical architecture. <http://itsarch.iteris.com/itsarch>.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002e). Key concepts. <http://itsarch.iteris.com/itsarc/key.htm>.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002f). Market packages. <http://itsarch.iteris.com/itsarch>.
- Iteris, Inc. Lockheed Martin (2002g). Theory of operations. <http://itsarch.iteris.com/itsarch>.
- ITS America (2003). Its america. Acessado em Dezembro de 2003.
- Kruchten, P. B. (1995). The 4+1 model of architecture. *IEEE Software*, 12(6).
- Mantovani, V. R. e Raia, A. A. (2002). Uma ferramenta eficaz para a moderna gestão no trânsito: Sistema integrado para análise de acidentes de trânsito - siaat. In *Comunicacoes Técnicas e Relatórios de Dissertação*, Natal - RN. ANPET, XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- Muller, P.-A. (2000). *Instant UML*. Wrox Press, Paris - France.
- National Electrical Manufacturers Association (1998). Ntcip - simple transportation management framework. AASHTO, ITE e NEMA. Draft Version.
- Notari (1999). Arquiteturas de software. <http://dein.ucs.br/profs/dlnotari/trabalhos/ufrgs/ti>. Acessado em Setembro de 2003.
- NTU (1999/2000). A crise da mobilidade urbana. http://www.ntu.org.br/publicacoes/anu_99_2000/index.htm. Acessado em Setembro de 2003.
- Oliveira, R., Fraga, J., e Montez, C. (2002). Programação em sistemas distribuídos. Eri´2002, Escola Regional de Informática do SBC, Florianópolis - SC.
- Prefeitura de Blumenau (2003). Mobilidade urbana. <http://www.blumenau.sc.gov.br>. Acessado em Setembro de 2003.

- Pressman, R. S. (1992). *Software Engineering - A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill, Inc., New York - US, 3rd. edition.
- Rossak, W. e et. all (1997). A generic model for software architectures. *IEEE Software*, 14(4).
- Rumbaugh, J. R., Blaha, M. R., Lorenzen, W., Eddy, F., e Premerlani, W. (1990). *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice Hall.
- Scott, K. (2001). *UML Explained*. Addison Wesley, New York - USA.
- Shaw, M. (1989). Large scale systems require higher level abstractions. *IEEE Computer Society*, 14(3).
- Tapia, S. L. e Ferraz, A. C. P. (2002). Coordenação de redes de tráfego utilizando o programa integration: Estudo de parte da rede viária da cidade de manágua. In *Comunicacoes Tecnicas e Relatorios de Dissertacao*, Natal - RN. ANPET, XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- UFSC, C. T. (2003). Sistema de informação e controle para mobilidade urbana. <http://www.das.ufsc.br/sincmobil>. Acessado em Janeiro de 2004.
- U.S. Department of Transportation (1996). Intelligent transportation systems in japan. Disponível na Internet. <http://www.fhwa.dot.gov/>.
- U.S. Department of Transportation (2002a). Glossary. Disponível na Internet. <http://itsarch.iteris.com/itsarch/html/user/userserv.htm>.
- U.S. Department of Transportation (2002b). The hypertext view. Disponível na Internet. <http://itsarch.iteris.com/itsarch/html/menu/hypertext.htm>.
- Vianna, M. M. B., Portugal, L. S., e Balassiano, R. (1999). A telemática aplicada ao gerenciamento de estacionamentos. In *XIII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - Engenharia e Segurança de Tráfego*, volume 2. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- Xavier, J. R. (2001). Criação e instanciação de arquiteturas de software específicas de domínio no contexto de uma infra-estrutura de reutilização. Master's thesis, COPPE - UFRJ.