UMA METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE NECESSIDADES EM CONTRATOS DE CANAIS DE DADOS COM GARANTIA DE NÍVEIS DE SERVIÇO

Marcos Cesar de Melo Pinto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Luis Felipe Magalhães de Moraes, Ph. D.

Prof. Claudio Thomas Bornstein, D. Sc.

Prof. Márcio Portes de Albuquerque, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

PINTO, MARCOS CESAR DE MELO

Uma Metodologia para Estimativa de Necessidades em Contratos de Canais de Dados com Garantia de Níveis de Serviço [Rio de Janeiro] 2006

XX, 112 p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Contratos de Nível de Serviço
2. Qualidade de Serviço

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

DEDICATÓRIA

Ao mais novo membro da família que ainda está na barriga da mãe, mas já é motivo de imensa alegria. Meu caçula, obrigado por me dar ainda mais ânimo para vencer este desafio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, sempre.

A minha esposa Marília e meu filho Murilo, porque são a minha razão de viver, minha alegria, meu estímulo e me deram muita força para chegar até aqui.

Aos meus pais, pelo exemplo e pela dedicação para fazer de mim o homem que sou.

À Marinha do Brasil, por mais uma oportunidade oferecida.

Ao Professor Luis Felipe, pelas orientações e sobretudo pela excelente estrutura de trabalho oferecida no Laboratório Ravel.

Aos companheiros do Laboratório Ravel, pela ajuda e solidariedade, nos muitos momentos de dificuldade.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE NECESSIDADES EM CONTRATOS DE CANAIS DE DADOS COM GARANTIA DE NÍVEIS DE SERVIÇO

Marcos Cesar de Melo Pinto

Dezembro/2006

Orientador: Luis Felipe Magalhães de Moraes

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Os resultados de estudos sobre provimento de qualidade de serviço em canais de transmissão de dados têm sido utilizados pelos provedores de serviços de telecomunicações para dimensionar os recursos de seus respectivos *backbones*, de forma a garantir os níveis de serviço demandados pelos seus clientes, em cláusulas contratuais denominadas "Acordos de Nível de Serviço" ou *Service Level Agreements* (SLA). Os mesmos estudos, entretanto, não têm dado ênfase a forma como os clientes poderão estabelecer suas necessidades. Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia simples para estimar o perfil do tráfego que será gerado em um enlace de dados a ser alugado. Esta estimativa permitirá aos clientes decidir sobre a qualidade dos serviços que pretendem contratar, de forma compatível com as condições financeiras das suas respectivas empresas. O resultados obtidos, na prática, representam a largura de faixa do canal a ser contratado e os níveis de serviço a serem exigidos, por categorias ou classes de tráfego.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fullfillment of the requirements for the degreee of Master of Science (M.Sc.)

A METHODOLOGY FOR ESTIMATING NEEDS IN CONTRACTS OF DATA-COMMUNICATION CHANNELS WITH SERVICE LEVEL AGREEMENTS

Marcos Cesar de Melo Pinto

December/2006

Advisor: Luis Felipe Magalhães de Moraes

Department: Systems Engineering and Computer Science

The results of studies about quality of service provisionning in data-communication channels have been used for telecommunications suppliers to allocate the appropriate resources of its backbones, in order to guarantee the levels of service demanded by its customers, in contractual clauses called Service Level Agreements (SLA). The same studies, however, have not considered how the customers will be able to establish its needs. Using a simple methodology, this work estimates the characteristics of the data traffic that passes through the core, allowing the customer to decide on the quality of the service that he or she intends to contract, in accordance with the financial possibilities of the company. The result, in practice, represents the data link capacity to be contracted and the service levels to be demanded, for each categorie of traffic

Definições

ATRASO : Tempo decorrido desde a geração de um pacote (ou qualquer outra unidade de informação) na fonte até a sua recepção no destino (página 1);

CONTRATO DE NÍVEL DE SERVIÇO : Contrato em que a qualidade ou performance do produto ou serviço a ser adquirido é avaliada por meio de métricas conhecidas como níveis de serviço (página 3);

DIFFSERV : Arquitetura de Serviços Diferenciados. Os pacotes que circulam pela rede são classificados por meio de rótulos, de forma que os nós da rede poderão tratá-los de forma distinta, de acordo com as prioridades que lhe forem atribuídas (página 14);

FLUXO : Tráfego de dados numa rede TCP/IP, na camada de transporte, entre duas aplicações hospedadas em computadores remotos (tipicamente um cliente e um servidor) (página 28) ;

INTSERV : Arquitetura de Serviços Integrados. Baseada em reserva de recursos por fluxo. Cada aplicação precisa fazer uma reserva antes de poder transmitir seus dados para o interior da rede (página 14);

JITTER : Medida da variação do atraso (página 1);

MMPP : *Markov Modulated Poisson Process*. Processo de Poisson, modelado por uma cadeia de Markov (página 26);

NÍVEIS DE SERVIÇO : Métricas que estabelecem a qualidade do serviço que deve ser prestado. No caso do alugel de um canal de transmissão de dados, estes níveis podem ser: vazão máxima, atraso máximo, limites para o *jitter*, tempo máximo tolerável de indisponibilidade, entre outros (página 1);

QoS : *Quality of Service*. Qualidade de Serviço (página 4);

QUALIDADE DE SERVIÇO : Conjunto de métricas utilizadas para avaliar a performance de um serviço a ser prestado, de modo a garantir um nível satisfatório de funcionalidade ou usabilidade (página 4);

SLA : *Service Level Agreement*. Acordo de Nível de Serviço (página 1);

TRÁFEGO : Taxa de chegada de carga de trabalho (unidades de dados) por unidade de tempo de serviço (transmissão destas unidades de dados), num sistema de filas (canal de transmissão de dados) (página 7);

VAZÃO : Carga de trabalho processada (unidades de dados transmitidos), num sistema de filas (canal de trasmissão de dados), em função do tráfego (página 1).

Sumário

Resumo **v**

Abstract **vi**

Glossário **vii**

1 Introdução **1**

1.1 Contratos de Nível de Serviço 3

1.2 Qualidade de Serviço 3

1.3 Motivação 4

1.4 Trabalhos Anteriores 7

1.5 Proposta e Objetivos 7

1.6 Contribuições 8

1.7 Organização do Texto 8

2 Pesquisa Bibliográfica **9**

2.1 Histórico de serviços diferenciados nos canais de transmissão de dados . . 10

2.2 Restrições do protocolo IP 11

2.3 Classes de Serviço 12

2.4 Alocação de recursos 13

2.4.1 Serviços Integrados 14

2.4.2 Serviços Diferenciados 14

2.5 Aplicabilidade dos Contratos de Nível de Serviço 15

2.6 Componentes dos Contratos de Nível de Serviço 16

2.7 Serviços de Conectividade 17

2.8 Disponibilidade na oferta de um serviço 18

2.9 Abordagens para garantia dos níveis de serviço em canais de transmissão de dados 20

Provisionamento Estático 20

Provisionamento Dinâmico 21

2.10 Monitoração dos níveis de serviço em canais de transmissão de dados . . 21

2.11 Conclusão 22

3 Metodologia proposta para estimativa de necessidades em contratos de locação de canais de transmissão de dados 24

3.1 Introdução 25

3.2 Princípios 29

3.3 Restrições 30

3.4 Etapas 31

3.4.1 Definição das classes de tráfego 31

3.4.2 Coleta de dados 33

3.4.3 Filtragem dos dados coletados 35

3.4.4 Análise estatística dos dados 43

3.4.5 Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego 51

3.5 Fluxograma 52

3.6 Conclusão 54

4 Aplicação da metodologia proposta em dois estudos de caso 55

4.1 Rede Rio 56

4.1.1 Definição das classes de tráfego 58

4.1.2 Coleta de dados no enlace a ser contratado 63

4.1.3 Filtragem dos dados coletados 65

4.1.4 Análise estatística dos dados 67

4.1.5 Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego 70

4.1.6 Validação 71

4.1.7 Observações 72

4.2 Auto-Similaridade 74

4.3 Marinha do Brasil 76

4.3.1 Definição das classes de tráfego 77

4.3.2 Coleta de Dados 84

4.3.3 Filtragem dos dados coletados 85

4.3.4 Análise estatística dos dados 90

4.3.5 Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego 98

4.3.6 Validação 99

4.4 Auto-Similaridade 102

5 Conclusão **104**

5.1 Dificuldades Encontradas 105

5.2 Contribuições 106

5.3 Trabalhos Futuros 106

Referências Bibliográficas **108**

Lista de Figuras

1.1 Capacidade C de um canal de transmissão de dados que garante uma probabilidade de perda inferior a um valor pré-estabelecido, P_{perda} 2

1.2 Etapas para a elaboração e condução de SLA 4

2.1 Topologia comum de um serviço de conectividade 18

2.2 Métricas de confiabilidade de um sistema genérico 19

3.1 Enlace de dados ponto-a-ponto entre duas unidades funcionais de uma empresa 30

3.2 Informações sobre o tráfego na rede exportadas de um roteador para uma unidade de armazenamento e processamento 34

3.3 Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico 36

3.4 Histograma das amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico 37

3.5 Tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte) 38

3.6 Histograma do tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte) 39

3.7 Distribuição cumulativa das amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico 40

3.8 Distribuição cumulativa do tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte) . 40

3.9 Comprometimento de parte das amostras do tráfego de dados da rede corporativa da Marinha do Brasil, provocado por um ataque do tipo *host scan* 42

3.10 Gráfico ilustrativo comparando os conceitos definidos de probabilidade de perda (P_{perda}) e taxa de perda (WLR) 44

3.11 Definição de *distribuição cumulativa empírica (ecdf)* como uma função escada, com saltos correspondentes a freqüência relativa f_i, relativos a cada valor amostrado de tráfego, x_i 46

3.12 Capacidade C de um enlace digital de dados que garante uma probabilidade de perda inferior a um valor pré-estabelecido, P_{perda} 47

3.13 Exemplo de distribuição dos quantiles (Q) correspondentes a uma probabilidade de perda pré-estabelecida (10%), para cada um dos n_g grupos em que as amostras do tráfego venham a ser divididas 50

3.14 Fluxograma que apresenta esquematicamente as etapas da metodologia proposta para estimativa de necessidades em contratos de nível de serviço 53

4.1 Topologia da Rede Rio 56

4.2 Esquema que ilustra o local de obtenção das amostras sobre o tráfego na Rede Rio, o enlace de entrada e saída do *backbone* com a Embratel 57

4.3 *Backbone* da Rede Rio como um enlace virtual 58

4.4 Distribuição cumulativa dos fluxos entre portas das amostras do tráfego coletado na Rede Rio 62

4.5 Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico, dividido por classes 63

4.6 Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico, considerando as classes 2 e 4 reunidas como P2P . . 65

4.7 Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico 66

4.8 Tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte) 66

4.9 Distribuição cumulativa empírica (ecdf), por classes de aplicações, das amostras do tráfego obtidas no estudo de caso da Rede Rio 67

4.10 Proporção entre o erro da inferência estatística ε e a capacidade estimada C para o enlace de dados com a Embratel, no estudo de caso da Rede Rio 70

4.11 Comparação do tráfego real, observado no estudo de caso da Rede Rio, com a distribuição de *Weibull* equivalente 74

4.12 Curvas do tráfego em escalas incrementais, obtidas no estudo de caso da Rede Rio, sugerindo um comportamento auto-similar do tráfego 75

4.13 Topologia da rede de dados da Marinha do Brasil 77

4.14 Distribuição do tráfego por aplicações, no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil, no final de 2005 78

4.15 Distribuição do tráfego por aplicações, no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil, no início de 2006 80

4.16 Efeito da modificação na forma de classificação do tráfego, considerando o término do ano de 2005 e o início de 2006, no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil 83

4.17 Esquema de coleta das informações sobre o tráfego no estudo de caso da rede de dados da Marinha do Brasil 85

4.18 Tráfego no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil, em dias de semana típicos e subseqüentes 85

4.19 Efeito da filtragem do tráfego correspondente aos acessos à Internet (enquadrados na classe 3), na rede de dados da Marinha do Brasil 87

4.20 Efeito da filtragem do tráfego correspondente aos fluxos críticos e da intranet (classes 1 e 2), na rede de dados da Marinha do Brasil 89

4.21 Mudança no comportamento do tráfego na rede de dados da Marinha do Brasil entre o final do ano de 2005 e o início de 2006 91

4.22 Distribuição cumulativa empírica (ecdf), por classes de aplicações, das amostras do tráfego obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil . . . 92

4.23 Distribuição cumulativa empírica (ecdf), por classes de aplicações, das amostras do tráfego obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil, no final de 2005 94

4.24 Distribuição cumulativa empírica (ecdf), das amostras do tráfego total, obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil, no início de 2006 97

4.25 Curvas do tráfego em escalas incrementais, obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil, sugerindo um comportamento auto-similar do tráfego . 103

Lista de Tabelas

2.1 Exemplos de valores de disponibilidade anual, que podem fazer parte de um contrato de prestação de serviços 20

2.2 Métodos e os correspondentes mecanismos de monitoração do tráfego em redes 22

4.1 Aplicações adaptativas ou elásticas 59

4.2 Aplicações não adaptativas 60

4.3 Aplicações em tempo real 61

4.4 Capacidades calculadas para o enlace, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, no estudo de caso da Rede Rio 68

4.5 Valor proporcional da margem de erro (ε), para as capacidades calculadas para cada classe de aplicações, no estudo de caso da Rede Rio 69

4.6 Comparação entre a previsão de saturação para as capacidades calculadas para cada classe de aplicações e os resultados obtidos num período subseqüente de coleta, no estudo de caso da Rede Rio 72

4.7 Distribuição das aplicações em classes, no estudo de caso da Marinha do Brasil 79

4.8 Peso de alguns servidores web específicos no tráfego HTTP total coletado da rede de dados da Marinha do Brasil 81

4.9 Distribuição das aplicações em classes, no estudo de caso da Marinha do Brasil, após a alteração no esquema de classificação provocado pela mudança no comportamento do tráfego entre 2005 e 2006 82

4.10 Capacidades calculadas para o enlace, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, no estudo de caso da Marinha do Brasil 93

4.11 Capacidades calculadas para o enlace, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, no estudo de caso da Marinha do Brasil, considerando apenas as amostras obtidas em 2005 95

Capítulo 1

Introdução

UMA das principais tendências globais na gerência da tecnologia de informação (TI) consiste na terceirização de serviços e produtos através de contratos com parceiros externos [1]. Entre os serviços terceirizados estão o desenvolvimento de sistemas, a hospedagem de aplicações corporativas e o aluguel de canais de transmissão de dados. O objeto de tais contratos é de natureza essencialmente técnica, cujos parâmetros de performance podem ser avaliados objetivamente através de métricas conhecidas como níveis de serviço e que passaram a ser incluídas nos contratos na forma de cláusulas entituladas "Acordos de Nível de Serviço" ou *Service Level Agreements* (SLA). No caso particular de um contrato de locação de um canal de transmissão de dados, os níveis de serviços normalmente presentes em SLA são: probabilidade de perda de pacotes, vazão ou capacidade máxima, atraso, variação do atraso (*jitter*), disponibilidade, entre outros. O primeiro nível de serviço mencionado se refere a probabilidade do tráfego exceder a capacidade estabelecida para o canal, o que pode acarretar perda de pacotes. O gráfico da Figura 1.1 ilustra a capacidade C de um canal de transmissão de dados que garante uma probabilidade de perda inferior a um valor pré-estabelecido, P_{perda}.

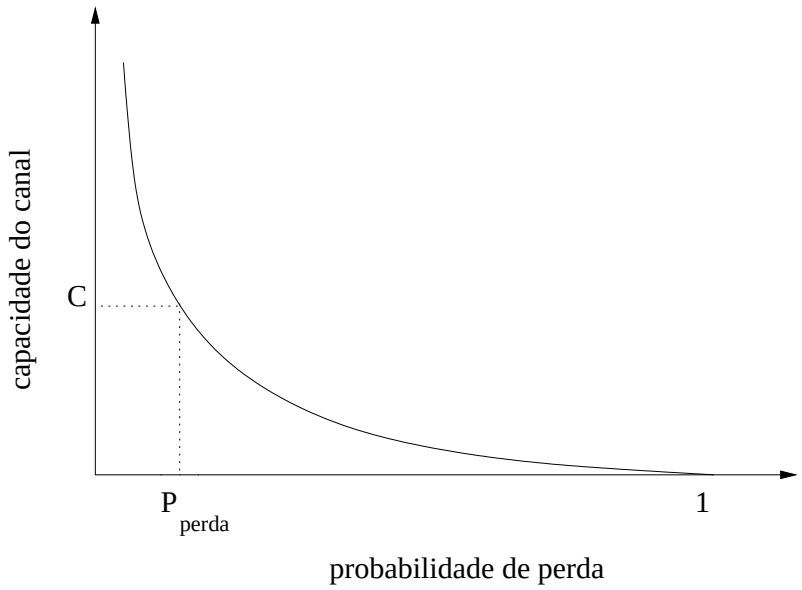


Figura 1.1: Capacidade C de um canal de transmissão de dados que garante uma probabilidade de perda inferior a um valor pré-estabelecido, P_{perda}

Outra particularidade de um contrato de locação de um canal de transmissão de dados é a possibilidade de incluir tratamento diferenciado para os diferentes tipos de tráfego, em função das aplicações ou sistemas responsáveis pela sua geração, numa técnica conhecida como Qualidade de Serviço (QoS). Assim sendo, os contratos precisam estabelecer níveis de serviço específicos, com base nas métricas já mencionadas, para cada classe das referidas aplicações, priorizando algumas, em detrimento das outras.

Esta dissertação propõe um método simples para fornecer aos clientes que pretendem alugar um enlace digital de dados, os subsídios para decidir sobre os níveis de serviço que deverão constar dos respectivos SLA, a saber: a capacidade total ou largura de faixa do canal que pretendem contratar e as reservas que deverão ser atribuídas às classes consideradas mais importantes. Para atingir este objetivo, algumas possibilidades foram consideradas, como a criação de modelos markovianos e a utilização do conceito de capacidade efetiva [2]. O caminho escolhido, entretanto, foi o da análise estatística dos dados,

tomando-se como base a métrica da probabilidade de perda, por ter influência direta sobre as demais.

1.1 Contratos de Nível de Serviço

Contrato de Nível de Serviço ou *Service Level Agreement* (SLA) é o termo genérico utilizado para designar contratos entre prestadores de serviço e seus clientes, em que o objeto contratado é avaliado através de um conjunto de parâmetros ou indicadores de qualidade (níveis de serviço) [3]. No caso específico dos provedores de telecomunicações, estes níveis de serviço estão relacionados com as características do enlace de transmissão de dados a ser disponibilizado, notadamente em redes IP, além de outros critérios. Um SLA deste tipo é composto, basicamente, dos seguintes itens [3]:

- A descrição da natureza do serviço a ser fornecido;
- Os níveis de serviço exigidos;
- Os procedimentos de monitoração e geração de relatórios sobre o tráfego;
- O tempo máximo tolerável para a solução de problemas; e
- Multas e outras penalidades incidentes no caso do não cumprimento das cláusulas contratuais.

1.2 Qualidade de Serviço

O tráfego de dados em redes IP agrega uma série de tipos de fluxos, oriundos de aplicações diversas. Assim sendo, é desejável classificá-los, agrupado-os em categorias

com características semelhantes. Para cada categoria, diferentes níveis de serviço serão atribuídos, numa técnica ou metodologia conhecida como *Quality of Service* ou Qualidade de Serviço (QoS). A diferenciação do tráfego em classes faz parte do SLA e representa a possibilidade, para o cliente, de priorizar fluxos importantes e de economizar recursos no estabelecimento da capacidade total do enlace.

1.3 Motivação

O estudo de SLA pode ser dividido em três etapas fundamentais:

1. O estabelecimento das necessidades do cliente, através da definição de valores para métricas relacionadas aos canais de transmissão de dados (níveis de serviço);
2. A alocação dos recursos necessários, por parte do provedor, de forma a garantir os níveis de serviço acordados; e
3. A criação dos critérios e ferramentas para o acompanhamento e verificação do cumprimento dos parâmetros definidos pelo contrato.

A Figura 1.2 apresenta esquematicamente os passos para a elaboração e condução de SLA.

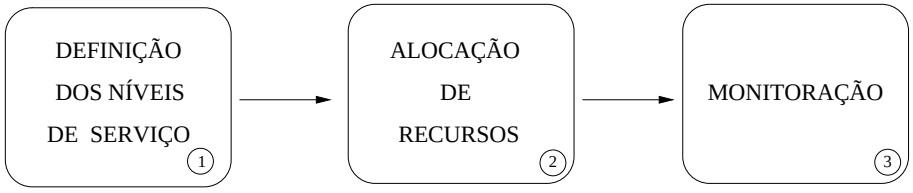


Figura 1.2: Etapas para a elaboração e condução de SLA

A primeira etapa deve ser analisada, levando-se em conta os tipos diferentes de tráfego de dados que circulam pela rede e a necessidade de tratá-los de forma diferenciada, com

qualidade de serviço (QoS) [4][5]. Esta distinção é fundamental para, além da garantia de qualidade, concorrer para a economia de recursos. Como apenas os tráfegos prioritários receberão tratamento privilegiado, com garantias rígidas de qualidade, basta reservar uma parcela dos recursos disponíveis (por exemplo, largura de faixa que garante uma perda inferior a 0,01%) de tal forma a atender a demanda específica destes tráfegos. Aos tráfegos das demais aplicações, poderão ser oferecidos níveis menos exigentes (toleram-se perdas de até 10%) e a capacidade total do canal poderá ser reduzida. Na etapa seguinte, definidos os níveis de serviço para cada classe de aplicações, o provedor estabelece a capacidade do canal que deverá ser alocada, de forma estática ou dinâmica, para cada uma delas [6], por meio de regras de priorização ou até mesmo de reserva de recursos, em cada um dos nós da rede. Posteriormente, sistemas de monitoração são introduzidos para verificar se os níveis de serviço presentes nos contratos estão sendo cumpridos. Caso contrário, multas e outras penalidades previstas poderão ser aplicadas.

A análise de cada uma das etapas demonstra que o estabelecimento dos níveis de serviço representa o primeiro passo, o critério que cria os parâmetros para a execução das etapas seguintes. A questão fundamental, portanto, diz respeito à forma como estes níveis são estabelecidos. Esta definição não é simples e normalmente não é conduzida com a atenção e o rigor necessários. As seguintes questões devem ser observadas:

- A verba disponível para arcar com as despesas do futuro contrato;
- As características intrínsecas dos fluxos gerados pelos serviços de rede, agrupados em classes ou categorias; e
- A prioridade que o cliente atribui a cada aplicação usada no ambiente corporativo e que está relacionada com as regras de negócio da empresa.

As três questões contribuem, de forma isolada ou em conjunto, para tornar a tarefa complexa. O primeiro ponto é determinante, pois se não há restrições quanto ao desem-

bolso de recursos, bastaria contratar um canal super dimensionado. Entretanto, nem sempre esta é a realidade de todas as empresas, especialmente as de pequeno e médio porte, ou mesmo os órgãos públicos. Além disso, toda forma de desperdício, por princípio, deve ser evitada. Sobre os fluxos gerados por cada classe de aplicações, os níveis de serviço devem ser obtidos a partir da observação da vazão decorrente do somatório das mesmas. O comportamento dos fluxos sobrepostos vai determinar o estabelecimento dos requisitos de qualidade para a classe como um todo, observando as particularidades de cada serviço que a integra. O último aspecto está relacionado com a maior ou menor importância de determinadas aplicações, em razão do valor estratégico que possuem para os negócios da empresa. Mesmo que uma aplicação solicite um nível de serviço mais robusto, em função de suas características particulares, ela poderá ser enquadrada em uma classe menos privilegiada, dando prioridade para outra, considerada crítica pelos critérios definidos pela instituição. Ou seja, o cliente pode achar razoável que uma vídeo conferência apresente interrupções e a imagem não tenha grande qualidade, mas considera crucial o sincronismo das réplicas de seu banco de dados distribuído ou ainda, estabelece que uma mensagem eletrônica não pode levar mais do que trinta segundos para chegar no seu destino.

Os questionamentos e incertezas elencados sobre o perfil do tráfego que vai circular pelo enlace, acrescidos das características próprias de cada cliente exigem que a definição dos níveis de serviço se dê por meio de critérios formalmente elaborados. O contratante precisa conhecer efetivamente quais são suas necessidades, que são os subsídios técnicos para celebrar um contrato de prestação de serviços. É justamente para este aspecto da formulação de SLA que este trabalho está orientado, ou seja, a etapa de número 1 da Figura 1.2.

1.4 Trabalhos Anteriores

a Os trabalhos publicados sobre SLA, de acordo com a pesquisa bibliográfica realizada neste estudo, estão em sua maioria voltados para o provisionamento de recursos e monitoração dos níveis de serviço [7] [8] [9]. Mesmo os softwares comercias tendem a ser desenvolvidos priorizando esta abordagem. Não há, salvo melhor juízo, uma corrente de estudos dedicada a fornecer subsídios para os clientes, de modo que as empresas possam conhecer suas verdadeiras necessidades, por meio de procedimentos técnicos, formais. A definição adequada destas demandas, torna-se ainda mais importante, considerando o estabelecimento de tratamentos diferenciados para tráfegos com requisitos distintos (QoS). Novamente, a pesquisa bibliográfica encontrou artigos sobre técnicas e modelos que permitem ao provedor oferecer tratamento diferenciado para determinadas aplicações [10][11][2], mas não foram encontrados trabalhos voltados para a definição, pelo cliente, dos níveis de serviço necessários para estabelecer esta diferenciação.

1.5 Proposta e Objetivos

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia simples para condução de uma análise prévia do comportamento do tráfego a ser gerado em um enlace de dados que será alugado por meio de SLA. O tráfego será avaliado como um todo e separadamente, através da criação de categorias de aplicações. O resultado desta análise fornecerá aos clientes subsídios para decidir sobre a qualidade dos serviços que pretendem contratar, de forma compatível com as condições financeiras das suas respectivas empresas. O resultados obtidos, na prática, representam a largura de faixa no canal a ser contratado e os níveis de serviço exigidos para cada classe de aplicações.

1.6 Contribuições

- Constituir importante instrumento de consulta para a definição de SLA, uma vez que aborda vários aspectos (conceitos, tecnologias) ligados ao assunto, dando ênfase, ao contrário de trabalhos anteriores, à visão do cliente;

- Propor uma metodologia simples para que os clientes possam estabelecer, a *priori*, a capacidade total dos enlaces de dados entre suas unidades e os níveis de serviço de cada classe de aplicações, visando a economia ou emprego mais eficiente de recursos;

- O trabalho tem como um de seus objetivos buscar a redução do desperdício nos contratos de locação de canais de comunicação, bem como em políticas de reserva de recursos definidas sem planejamento; e

- Permitir a equipe de TI da empresa contratante conhecer o comportamento do tráfego de dados na rede, o que pode ser útil para identificar tráfegos indesejáveis, definir a necessidade de mudança em determinadas aplicações, descobrir porque alguns programas apresentam uma performance deficiente, entre outros.

1.7 Organização do Texto

Os capítulos seguintes desta dissertação apresentam, respectivamente, os conceitos fundamentais sobre *Service Level Agreements* e Qualidade de Serviço (QoS). Em seguida, o Capítulo 3 descreve as etapas do método proposto, acrescidas das observações pertinentes. Dois exemplos de aplicação da técnica são abordados no Capítulo 4, na forma de estudos de caso. O último capítulo expõe as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Pesquisa Bibliográfica

GARANTIA de performance e priorização de fluxos em canais de transmissão de dados tornaram-se requisitos fundamentais com o advento das aplicações multimídia. A existência de tráfegos com características e necessidades distintas, compartilhando os mesmos meios físicos de transporte, motivou o desenvolvimento de uma técnica conhecida como Qualidade de Serviço (QoS), que tem por objetivo prover tratamento diferenciado para os fluxos gerados por cada tipo de aplicação. O termo qualidade, mesmo em um contexto mais amplo, deve ser definido com base em critérios mensuráveis, na forma de métricas conhecidas como níveis de serviço. Para incorporar esta forma mais rígida e menos ambígua na definição dos serviços a serem prestados, os contratos de uma forma geral estão passando por um processo de reformulação, que paulatinamente vem sendo absorvido pelo mercado, especialmente na área de Tecnologia da Informação (TI). Trata-se da adesão ao conceito de "Contratos de Nível de Serviço" ou Service Level Agreement (SLA), nos quais são definidos, de forma inequívoca, os níveis de serviço a serem oferecidos, específicos para cada item do objeto a ser contratado (produto ou serviço). A diferenciação dos serviços e os contratos que incorporam este conceito, específicos para locação de canais de transmissão de dados, formam a base conceitual para o prossegui-

mento deste estudo e serão apresentados neste capítulo.

2.1 Histórico de serviços diferenciados nos canais de transmissão de dados

Até meados dos anos 90, as redes de comunicações possuíam infra-estrutura física distinta para os tráfegos de voz, dados e imagens (TV). Como as despesas de instalação e de manutenção destas malhas eram e ainda são muito grandes, vislumbrou-se a possibilidade de fazer com que o mesmo meio físico compartilhasse vários serviços diferentes. Este processo vem sendo conduzido até os dias atuais e possui como maior desafio fazer com que um mesmo conjunto de nós e enlaces de telecomunicações possa transportar informações de natureza e requisitos distintos, sem prejuízo do funcionamento e desempenho de cada uma delas. Proposta nesse sentido já havia sido apresentada muito antes, em meados dos anos 70, com a *Integrated Services Digital Network* (ISDN), que depois evoluiu para B-ISDN, de faixa larga (*broadband*), já no final dos anos 80. A idéia era de que a estrutura existente para a telefonia suportaria os demais serviços. O problema desta e de outras soluções estava no aumento considerável na complexidade das tarefas atribuídas aos nós da rede, que precisariam assumir funções sofisticadas de multiplexação e tratamento diferenciado do tráfego. Nesse sentido, foi desenvolvido um novo modo de transferência de dados, chamado "modo de transferência assíncrono" ou *Asyncronous Transfer Mode* (ATM), a ser adotado em B-ISDN, entre outras razões por possibilitar a alocação dinâmica de largura de faixa e ser independente do meio físico de transporte de dados [12]. A tecnologia ATM, embora eficiente, foi considerada muito complexa e os equipamentos utilizados, muito caros [13].

O surgimento da Internet popularizou o uso do *Internet Protocol* ou simplesmente IP, tornando-o uma espécie de padrão universal. Os protocolos proprietários de sistemas

operacionais com o Windows® da Microsoft e o Netware® da Novell passaram a adotar o IP. Sistemas legados também buscaram soluções para transportar seus dados através desta tecnologia. No caso do protocolo SNA, dos *mainframes*, a solução foi o *Data Link Switching* (DLSw). A migração chegou aos serviços de voz, com o surgimento do *Voice Over IP* (VoIP) e atingiu as transmissões de vídeo, através do padrão H.323. O deslocamento de todos os tipos de serviço para o IP fez com que as soluções desenvolvidas para suportar diferenciação de tráfego e garantia de qualidade fossem direcionadas para esta arquitetura.

2.2 Restrições do protocolo IP

As redes IP transportam o tráfego por meio de um conceito conhecido como "melhor esforço" ou *best effort*. Trata-se de uma solução que tem como premissas a velocidade e a simplicidade, de modo a não sobrecarregar os nós (roteadores e switches) que compõe o núcleo da rede. A contra-partida de uma solução menos complexa é traduzida em um conjunto de limitações, a seguir listadas:

- Não há garantia da entrega dos pacotes;
- Não é possível estabelecer um limite máximo tolerável de atraso para entrega dos pacotes;
- Não é possível estabelecer taxas mínimas de transferência (vazão);
- Uma rede IP trata todo o tráfego da mesma forma, sem distinção.

Os problemas mencionados são parcialmente resolvidos ou minimizados por mecanismos estabelecidos na camada de transporte, *Transport Control Protocol* (TCP). O TCP controla os fluxos entre os processos de origem e destino e garante a entrega confiável

dos dados, mas cria o inconveniente da retransmissão dos pacotes perdidos. Entretanto, a questão da diferenciação do tráfego permanece sem solução. Para suprir esta deficiência, um conjunto de tecnologias foi desenvolvido, com o objetivo de permitir que tráfegos distintos possam ser tratados de forma diferenciada, com as correspondentes garantias de performance, no interior de uma rede TCP/IP. Este conjunto de mecanismos, juntamente com os conceitos e premissas envolvidos, recebeu a denominação de *Quality of Service* (QoS) ou Qualidade de Serviço.

2.3 Classes de Serviço

Os tipos mais comuns de tráfego, como dados, voz e vídeo possuem suas particularidades no que tange à necessidade de taxas mínimas de transmissão, sensibilidade ao atraso e *jitter* (variação de atraso). Mesmo as aplicações de dados apresentam requisitos diferentes entre si. Um dos problemas enfrentados neste contexto, e que demonstra como os requisitos dos tráfegos diferem entre si, consiste na definição do tamanho do *buffer* nos nós da rede. Idealmente, independente do tipo de aplicação, a rede deve deve evitar ao máximo a perda de pacotes. *Buffers* internos com grande capacidade podem ajudar a atingir este objetivo. Entretanto, um *buffer* muito grande permite que as filas de pacotes eventualmente também o sejam, o que pode provocar uma variação considerável no atraso para a entrega dos pacotes, também conhecido como *jitter*. O *jitter* não apresenta nenhum impacto negativo em aplicações web comuns, mas provoca efeitos muito desagradáveis em sistemas de tempo real, como voz e vídeo. O mesmo recurso pode ser benéfico para alguns tipos de aplicações e altamente prejudicial ao desempenho de outras.

O primeiro grande desafio na implantação de QoS consiste na existência de uma infinidade de tipos diferentes de tráfego. Para suportar tamanha variedade, a solução possível e mais coerente consiste em agrupar diversas aplicações com características comuns em

Classes de Serviço ou *Classes of Service* (CoS) e determinar a forma de tratamento comum que será aplicada a todas, sem distinção. A diferenciação no tratamento dado aos tráfegos estará portanto limitada às classes que deverão ser definidas. Os critérios para a definição das classes podem ser:

- Endereços de origem e destino;
- Protocolo;
- Portas de origem e destino;
- Interfaces; ou ainda
- Fluxos

2.4 Alocação de recursos

Um rede, em sua concepção mais simples, compreende um série de elementos ou recursos a serem compartilhados por seus usuários, tais como: largura de faixa nos enlaces, espaço nas filas de roteadores e switches e a capacidade de processamento destes últimos [14]. Em princípio, os clientes (aplicações que geram tráfego) deverão competir de igual para igual pela utilização dos elementos disponíveis. Uma rede que suporta QoS, entretanto, precisa criar regras para a alocação dos recursos, de modo a oferecer garantia de performance e diferenciação de serviço, indo além do conceito anterior de "melhor esforço". Para atingir este objetivo, duas abordagens foram propostas: serviços integrados e serviços diferenciados.

2.4.1 Serviços Integrados

A arquitetura de serviços integrados (*intserv*) é baseada em reserva de recursos por fluxo. Cada aplicação precisa fazer uma reserva antes de poder transmitir seus dados para o interior da rede. Este procedimento envolve uma série de passos. Primeiramente, é preciso informar o endereço de origem e de destino daquele fluxo e suas exigências em termos de qualidade. Em seguida, a rede se encarrega de identificar qual o melhor caminho para encaminhar os dados, considerando que cada nó escolhido deverá possuir recursos suficientes para assegurar que os requisitos solicitados serão atendidos. Um vez que a reserva foi estabelecida, a aplicação pode começar a enviar seus pacotes.

A arquitetura de serviços integrados apresenta alguns problemas. O primeiro deles está no fato de que o modelo considera que os fluxos possuem longa duração, para justificar o tempo e a carga de processamento envolvidos na reserva dos recursos da rede. Ocorre, entretanto, que as transações na Internet em sua maioria são rápidas e, por outro lado, apresentam-se em grandes quantidades. Com isso, a sobrecarga de processamento torna-se muito elevada. A outra questão está relacionada a escalabilidade. A criação de circuitos exige que cada nó da rede tenha suporte a reserva por fluxo o que pode não ser adequado para redes com volume muito grande de tráfego e que operam em altas velocidades.

2.4.2 Serviços Diferenciados

Na arquitetura de serviços diferenciados (*diffserv*) o tráfego dos usuários é dividido em um pequeno conjunto de classes. Para cada classe, o volume de tráfego que pode ser injetado na rede é limitado pelos roteadores de borda, antes de sua entrada na rede. Através do controle da quantidade de tráfego que pode circular pelo interior da rede, os provedores podem dimensioná-la de modo a oferecer garantias de performance. Além da

restrição do volume de dados, os roteadores externos são responsáveis pelo mapeamento dos pacotes nas classes apropriadas, por meio de códigos inseridos no cabeçalho dos mesmos. Um vez que os pacotes estejam identificados, os nós da rede poderão tratá-los de forma distinta, de acordo com as prioridades que lhe forem atribuídas. Pacotes de classes menos privilegiadas, por exemplo, serão descartados em detrimento de outros, considerados mais importantes. Uma das vantagens desta técnica é que não é necessário efetuar uma pré-reserva de recursos e portanto, não há problemas de escalabilidade.

A técnica de serviços diferenciados depende do adequado provisionamento de recursos, em função da demanda esperada, para assegurar os requisitos de performance acordados. O cumprimento desta garantia vai depender de quão precisa foi a previsão da demanda e se a quantidade de recursos alocada foi compatível. Para assegurar que o provedor poderá oferecer a qualidade solicitada e, ao mesmo tempo, estará otimizando os recursos da rede, algumas técnicas podem ser citadas, com destaque para *Multiprotocol Label Switching* (MPLS) e Engenharia de Tráfego.

2.5 Aplicabilidade dos Contratos de Nível de Serviço

Os contratos de nível de serviço (SLA) podem ser definidos e usados no contexto de qualquer ramo de atividades, sempre com o intuito de especificar o que o cliente pode esperar de um provedor de serviços, sob a forma de métricas objetivas ou índices que podem ser medidos. Este tipo de acordo pode ser adotado quando corporações repassam para parceiros externos tarefas que são consideradas fora do escopo principal de sua área de atuação. A operação e manutenção de redes de computadores é um dos exemplos mais comuns de funções normalmente terceirizadas por diversas empresas e será o objeto de estudo deste trabalho.

2.6 Componentes dos Contratos de Nível de Serviço

Os contratos de nível de serviço (SLA) são compostos tipicamente pelos seguintes ítens [3]:

- ***Uma descrição da natureza do serviço a ser oferecido***. Isto inclui o tipo de serviço que será prestado e as particularidades do acordo em questão. No contexto de redes IP, o tipo de serviço pode representar a manutenção da conectividade entre as unidades de uma empresa e incluir recursos adicionais como serviço de nomes, servidor web, de correio, entre outros;

- ***A performance esperada dos serviços, a disponibilidade e o poder de reação na ocorrência de falhas***. Entenda-se como performance os índices de qualidade do serviço. A disponibilidade está relacionada a proporção do tempo em que o serviço estará ativo e quais os limites para os períodos de interrupção. O poder ou capacidade de reação estabelece o tempo necessário para que o sistema retorne a operação normal;

- ***Os procedimentos para reportar problemas***. Indica a pessoa a ser contactada para resolver cada tipo de falha, o formato em que a reclamação deve ser encaminhada e os passos a serem seguidos para sanar o problema.

- ***Uma estrutura para o tempo de resposta na solução de problemas***. Especifica o tempo máximo para que alguém seja designado para tratar de um problema e o prazo limite para a efetiva solução do ocorrido.

- ***O processo de monitoração e geração de relatórios sobre os níveis de serviço***. Descreve como os parâmetros de performance serão monitorados e as informações correspondentes, disponibilizadas. Estão incluídas as métricas a serem coletadas, bem como as estatísticas correspondentes e, ainda, como estes dados poderão ser

obtidos. Alguns provedores podem permitir que os clientes acessem diretamente as informações sobre a rede através de alguma ferramenta automatizada de gerência.

- ***As conseqüências do provedor não cumprir as cláusulas contratuais***. Nestes casos é comum o provedor oferecer para o cliente alguns créditos ou serviços adicionais, como compensação. Outras conseqüências são a possibilidade do encerramento do contrato, o ressarcimento de parte das receitas comprometidas com a falha no serviço e a aplicação de multas.

- ***Casos de exceção***. São condições sobre as quais os níveis de serviço não podem ser exigidos por motivo de força maior. Exemplos típicos são acidentes ou desastres causados pela natureza. Outro caso típico ocorre quando o cliente, por imperícia ou negligência, danifica um dos equipamentos de rede do provedor e compromete a continuidade do serviço.

2.7 Serviços de Conectividade

Os serviços de conectividade ou aluguel de canais de transmissão de dados são oferecidos por concessionárias e empresas de telecomunicações. Os circuitos ou enlaces podem interligar unidades de uma empresa, oferecer acesso a Internet ou ambos. O esquema é ilustrado pela Figura 2.1

Os SLA referentes a este tipo de produto usualmente apresentam as seguintes exigências, associadas a performance e disponibilidade:

- O tempo médio de atraso entre o envio e o recebimento de pacotes entre os roteadores de acesso de duas das redes do cliente (no caso de um enlace ponto-a-ponto, como descrito na Figura 2.1);

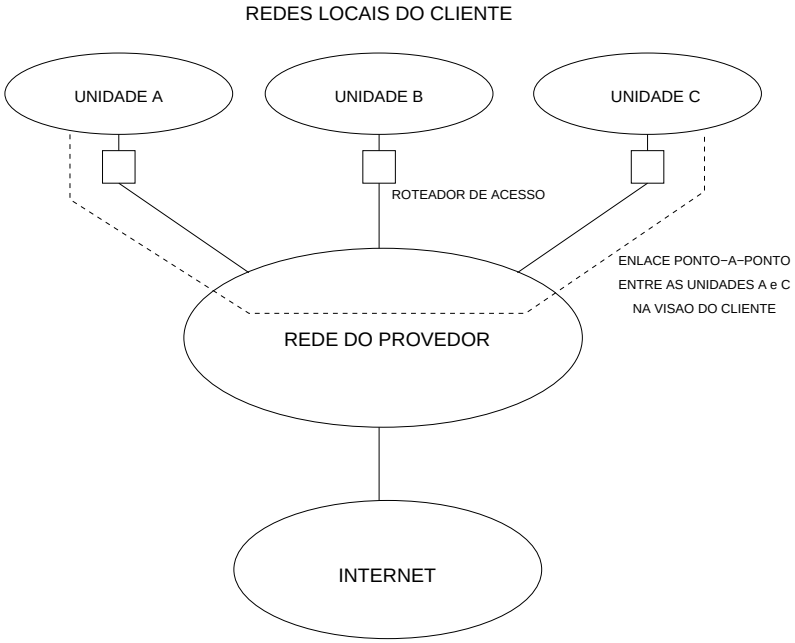


Figura 2.1: Topologia comum de um serviço de conectividade

- Os valores aceitáveis de variação do atraso (*jitter*);
- O tempo máximo de interrupção do serviço (queda na conexão) e a proporção mínima tolerável entre o tempo médio de operação do sistema e os períodos de falha;
- A taxa máxima aceitável de perda de pacotes; e
- A vazão máxima que pode ser alcançada, considerando o tráfego como um todo.

2.8 Disponibilidade na oferta de um serviço

Um circuito digital dedicado é um serviço de provimento contínuo e que deve manter-se em operação 24 horas por dia, sete dias por semana. A disponibilidade do serviço é, portanto, um parâmetro chave em SLA para serviços de telecomunicações. Para avaliar

de forma objetiva a disponibilidade do serviço de conectividade, algumas métricas são comumente adotadas, por serem válidas para um sistema genérico:

- Tempo médio para ocorrência de uma falha (*Mean Time to Failure, MTTF)*): período médio em que o serviço permanece operando normalmente, a partir do momento que entra em produção;
- Tempo médio de reparo (*Mean Time to Repair, MTTR*): tempo necessário, em média, para reparar o sistema, a partir do instante de ocorrência de uma falha;
- Tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failure, MTBF*): intervalo médio de tempo entre a ocorrência de falhas consecutivas.

O esquema da Figura 2.2 ilustra o conceito:

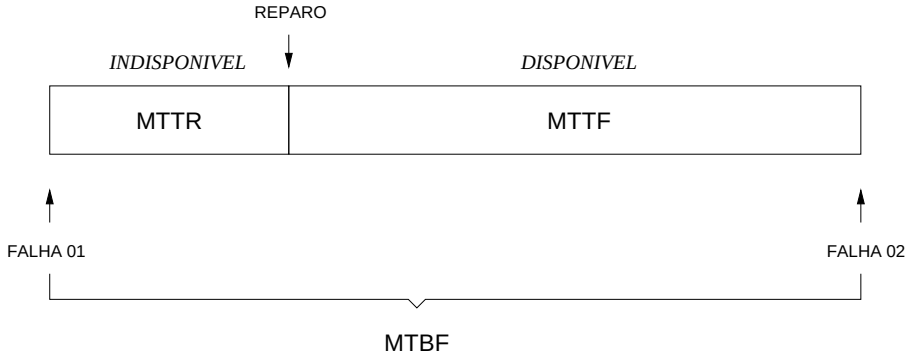


Figura 2.2: Métricas de confiabilidade de um sistema genérico

Assim sendo, a disponibilidade do sistema (D), pode ser definida como na equação 2.1:

$$D = \frac{MTTR}{MTTF + MTTR} \tag{2.1}$$

A Tabela 2.1 apresenta de forma ilustrativa alguns valores de disponibilidade anual, que podem fazer parte de um contrato de prestação de serviços. É com base em um

comprometimento maior com a qualidade, como sugerido pelas primeiras linhas da tabela, que os provedores procuram atrair os seus clientes.

Tabela 2.1: Exemplos de valores de disponibilidade anual, que podem fazer parte de um contrato de prestação de serviços

DISPONIBILIDADE ANUAL	TEMPO INDISPONÍVEL EM UM ANO	
99,9999999%	0,03	seg
99,999999%	0,32	seg
99,99999%	3,15	seg
99,9999%	31,54	seg
99,999%	5,26	min
99,99%	52,56	min
99,9%	8,76	hora
99,0%	3,65	dia
90,0%	36,50	dia

2.9 Abordagens para garantia dos níveis de serviço em canais de transmissão de dados

Há duas formas básicas para oferecer garantias de serviço:

Provisionamento Estático

O provedor define os recursos que estarão disponíveis para o cliente de modo a alcançar os níveis de serviço exigidos. Periodicamente, o provedor verifica se os níveis estão sendo cumpridos e avalia o prejuízo financeiro e mesmo do comprometimento de sua imagem,

ao não atendê-los. Eventualmente, multas precisarão ser pagas. É uma abordagem semelhante à adotada pelas companhias de seguro. Se a probabilidade de registrar prejuízo financeiro for grande, o provedor modifica a configuração dos recursos alocados, de modo a reduzi-la.

Provisionamento Dinâmico

O provedor aloca inicialmente uma parte de seus recursos para o cliente, com o objetivo de atender os parâmetros acordados. A partir deste momento, haverá um acompanhamento constante do tráfego na rede, para verificar se os níveis poderão ser comprometidos. Se houver a perspectiva de que isso aconteça, os recursos (prioridades nos nós, políticas de roteamento, entre outros) serão modificadas em tempo real, de modo a garantir a oferta de qualidade acordada, não permitindo que os limites sejam violados.

2.10 Monitoração dos níveis de serviço em canais de transmissão de dados

Para verificar se os níveis de serviço acordados em SLA estão sendo efetivamente cumpridos, é necessário introduzir ferramentas de monitoração do tráfego na rede. Estes aplicativos devem permitir a visualização, em tempo real, da vazão no circuito e dos valores dos parâmetros estabelecidos. Caso algum requisito venha a ser violado, todas as informações pertinentes deverão ser geradas, na forma de avisos e, posteriormente, de relatórios. Isto inclui o instante em que ocorreu a falha ou degradação no serviço, o tempo em que o sistema operou de forma indevida, as possíveis causas, entre outros. Com base nas informações obtidas, cliente e provedor poderão negociar a aplicação das penalidades contratuais e, mais do que isso, avaliar se os níveis definidos estão coerentes com o

perfil da demanda observada. A Tabela 2.2 [15] apresenta os métodos e correspondentes mecanismos de monitoração de redes.

Tabela 2.2: Métodos e os correspondentes mecanismos de monitoração do tráfego em redes

MÉTODOS	MECANISMOS
Monitoração Ativa	- Gerar tráfego artificialmente - Medir a performance do tráfego gerado
Monitoração Passiva	- Capturar os fluxos por meio de espelhamento ou software instalado nos roteadores da rede
SNMP	- Utilizar os agentes SNMP

SNMP: Simple Network Management Protocol

2.11 Conclusão

A tendência crescente de terceirização na área de Tecnologia da Informação, associada ao crescimento constante deste mercado, vem provocando uma nova e benéfica alteração no relacionamento entre as empresas que buscam tecnologia e os prestadores de serviços. Este fenômeno vem ocorrendo por meio da aplicação em contratos e acordos comerciais do conceito de Service Level Agreement (SLA). Estes acordos incorporam às relações entre empresas, os direitos dos consumidores domésticos ou pessoas físicas. Isto é, com o SLA, as companhias passam a ter garantias legais de níveis de qualidade, prazo e estrutura por parte de seus fornecedores.

Qualidade de Serviço representa o tratamento diferenciado do tráfego reunido em classes de serviço, com o objetivo de garantir o nível de qualidade adequado a cada aplicação. Em sua proposta original, os requisitos exigidos por cada aplicação, que definem a par-

cela de recursos que lhes deve ser alocada, depende exclusivamente da natureza do tráfego gerado. O exemplo mais comum são aplicações multimídia. Todavia, como será mencionado no decorrer deste estudo, não são apenas as características dos fluxos que estabelecem suas prioridades. Num ambiente corporativo, fora do escopo da Internet como rede mundial, os critérios que podem definir em que classes estarão enquadrados os aplicativos também estarão vinculados à importância de cada serviço no cumprimento dos objetivos da empresa. Ou seja, deve ser dada ao cliente a oportunidade de decidir se uma ligação telefônica por VoIP deve ou não ter prioridade em relação a uma transação em um banco de dados. É esta postura, mas voltada para as necessidades do cliente, que norteou a condução do restante deste trabalho.

Capítulo 3

Metodologia proposta para estimativa de necessidades em contratos de locação de canais de transmissão de dados

ESTE capítulo descreve a metodologia utilizada para determinar a largura de faixa e as garantias de reserva para cada classe de aplicações, em contratos de aluguel de canais de transmisão de dados, com acordos de nível de serviço. O processo é baseado na inferência estatística da demanda esperada, a partir de amostras do tráfego, obtidas de um enlace provisório. O método considera a probabilidade de saturação do enlace como o nível de serviço que determina a capacidade a ser solicitada, de acordo com as possibilidades financeiras da empresa. A proposta também compreende o estabelecimento de níveis de serviços diferenciados (QoS), por meio da criação de classes de tráfego e da definição das respectivas necessidades de garantia de recursos.

3.1 Introdução

A descrição do método precisa ser compreendida e analisada de acordo com os objetivos a serem alcançados, que são:

- Definir, *a priori*, as necessidades do cliente que pretende celebrar um contrato para o aluguel de um canal de transmissão de dados, traçando um perfil qualitativo e quantitativo do tráfego que vai circular pelo enlace, ou seja, a demanda total esperada (em bits/s, por exemplo) e, separadamente, por classes de aplicações do volume de tráfego que vai circular pelo canal;

- Estabelecer uma estimativa da largura de faixa do canal a ser contratado, em função do perfil definido no item anterior e das condições financeiras da empresa. Por exemplo: um canal de 2 Mbits/s será capaz de garantir uma probabilidade de perda de pacotes inferior a 1%; por outro lado, se a perda não pode superar 0,01%, serão necessários 4 Mbits/s, a um custo evidentemente maior; e

- Estimar os níveis de serviço a serem garantidos para cada categoria de aplicações, de modo a orientar a implantação, pelo provedor, de políticas de QoS nos nós que irão compor a estrutura da rede. Por exemplo: às aplicações críticas, devem ser oferecidas reservas na largura de faixa do canal, de tal forma que as correspondentes probabilidades de perda sejam desprezíveis.

Além de atender aos objetivos estipulados, a metodologia precisa ser simples e produzir resultados consistentes em um espaço de tempo razoável, previamente combinado, como será mais bem explicado na Seção 3.3 que descreve o cenário.

A primeira abordagem considerada para atingir os objetivos propostos foi a tentativa de modelar o tráfego que seria introduzido no canal por meio de um processo estocástico,

possivelmente *markoviano* ou MMPP (*Markov Modulated Poisson Process*). Iniciativas semelhantes são freqüentemente encontradas em artigos que versam sobre caracterização do tráfego [16][17]. Entretanto, tais estudos consideram a criação de modelos baseados em fluxos e na possível sobreposição dos mesmos. No contexto considerado nesta dissertação, o que se pretende é definir o comportamento de um conjunto de fluxos agrupados em uma classe ou categoria de aplicações, cujas características são diversas e desconhecidas. Esta particularidade cria algumas dificuldades, abaixo listadas:

- As classes de aplicações serão criadas de acordo com as prioridades estabelecidas pelos clientes, associadas às características próprias dos correspondentes fluxos. Desta forma, fluxos com comportamentos absolutamente distintos poderão ser agrupados em uma mesma categoria e o modelo necessário para representar a sobreposição dos mesmos precisará ser customizado para cada caso; e

- Algumas das aplicações que vão gerar tráfego no enlace podem utilizar protocolos de aplicação proprietários, cujas características diferem dos modelos já desenvolvidos para sistemas bem conhecidos (VoIP, vídeo-conferência, etc.). Neste caso, será necesário criar um modelo para cada aplicação proprietária encontrada.

As dificuldades apresentadas tornam-se relevantes, considerando as premissas de simplicidade e restrições de prazo, que serão apresentadas no tópico seguinte, na forma de princípios. Ou seja, como a proposta do trabalho é a de fornecer um método para produzir resultados práticos em um prazo pré-definido, a hipótese da criação de um modelo *markoviano*, possivelmente específico para cada caso, foi descartada.

Em seguida, considerou-se a adoção do conceito de capacidade efetiva [2], que representa a largura de faixa de um canal de transmissão de dados, necessária para suportar o volume de tráfego gerado por uma ou mais fontes, considerando a probabilidade da fila no buffer de entrada no canal ultrapassar um valor máximo preestabelecido. Para o caso

do buffer nulo, isto corresponde a probabilidade de perda de pacotes P_{perda}. De acordo com [2], a capacidade efetiva individual de uma fonte k, é definida pela equação 3.1

$$C_k \cong \lim_{t \to \infty} \frac{1}{t} \frac{1}{\theta} ln E[e^{\theta A_{k(t)}}] \tag{3.1}$$

onde $A_k(t)$ representa a função, no tempo, do tráfego gerado pela fonte k. O valor de θ é definido na equação 3.2:

$$\theta = \frac{1}{x} ln(1/P_{perda}) \tag{3.2}$$

onde x representa o tamanho da fila no elemento de entrada no canal (roteador ou comutador).

Na forma como foi definida, a capacidade efetiva é uma grandeza linear e portanto permite somar as contribuições de cada uma das fontes de dados que produzirão o tráfego C_k, de forma a estabelecer a largura de faixa total do canal, suficiente para suportá-las, C_e. Assim:

$$C_e = \sum_{k=1}^{K} C_k \tag{3.3}$$

A opção pelo uso da capacidade efetiva das fontes, como base para criação da metodologia proposta neste estudo, apresentou os seguintes problemas:

- O cálculo da capacidade efetiva depende do conhecimento do tamanho da fila do elemento de entrada no canal (roteador ou comutador) e não considera o fato de que podem haver outros nós no interior do enlace. Este fato vai de encontro com a idéia de que o cliente deve demandar as suas necessidades em função daquilo que produz, por força dos sistemas que possui e de suas regras de negócio. As características do enlace a ser oferecido pelo provedor são de responsabilidade do próprio provedor e

cabe a ele ajustá-las da melhor forma para atender as exigências do cliente. Definir as necessidades do cliente, em função daquilo que pode ser oferecido pelo provedor, seria um erro conceitual grave;

- A propriedade linear da capacidade efetiva, que permite somar as contribuições de cada fonte, só é válida se as fontes forem idênticas, do mesmo tipo. Os ambientes corporativos para os quais o método se aplica possuem fontes de tráfego dos mais variados tipos; e

- Ainda que fossem definidas as capacidades efetivas para cada tipo de fonte, o somatório de um número muito grande delas tende a introduzir um erro significativo (para cima), excessivamente conservador, nos cálculos de estimativa da largura de faixa [3]. Ou seja, o ganho obtido com a multiplexação do canal para uso coletivo de um conjunto de fontes independentes estaria sendo desconsiderado e há estudos que reforçam a idéia de que este ganho é relevante [18].

Em função dos problemas observados, o uso do conceito de capacidade efetiva para formulação da metodologia também foi descartado.

Observação: o estudo dos modelos markovianos, e do conceito de capacidade efetiva, ainda que não tenham sido aproveitados diretamente, forneceram subsídios para a formulação do metodologia proposta neste estudo.

A partir de então, a alternativa considerada viável foi a de desenvolver um procedimento baseado na análise estatística do tráfego. Com base em um conjunto de amostras, seriam criadas curvas para representar o comportamento probabilístico da vazão total no enlace e de cada categoria de aplicações. Estas curvas seriam suficientes, dentro de um nível de confiança pré-determinado, para estabelecer a largura de faixa e os níveis de serviço a serem posteriormente registrados em SLA. Sendo assim, as seguintes tarefas precisariam ser detalhadas:

- Agrupamento dos fluxos em categorias ou classes;
- Definição da sistemática de obtenção das amostras;
- Elaboração de um processo de filtragem das amostras;
- Forma de condução da análise estatística; e
- Como os resultados da análise levariam as conclusões sobre a capacidade a ser contratada e as larguras de faixa que seriam reservadas para os fluxos prioritários (QoS);

As seções seguintes descrevem os princípios que nortearam a elaboração do método e o cenário em que o mesmo se aplica. Em seguida, serão descritas cada uma das etapas formuladas, com os detalhes e considerações correspondentes.

3.2 Princípios

Os seguintes princípios orientaram a elaboração da metodologia:

- *Simplicidade:* o método deve ser simples. A precisão dos resultados é limitada pela capacidade nominal mínima da porta de um roteador ou switch;
- *Evitar o desperdício:* a largura de faixa do canal deve ser apenas suficiente para atender, dentro de um nível de confiança rígido, as necessidades do cliente;
- *Solução conservadora:* ainda que buscando a solução mais econômica, na ocorrência de qualquer incerteza sobre um valor estimado, deve prevalecer a opção pelo enlace com maior capacidade; e
- *Prazo:* o método deve apresentar resultados conclusivos em um espaço de tempo previamente acordado.

3.3 Restrições

A metodologia proposta neste estudo se aplica a um ambiente composto por um único enlace ponto-a-ponto, na visão do cliente [1], interligando duas unidades funcionais de uma empresa, a ser fornecido por um provedor que ofereça garantias de QoS (Figura 3.1). Trata-se de uma caso simples, mas que pode fornecer subsídios para estruturas mais complexas. O método independe da estrutura do *backbone* do prestador de serviços (*Frame Relay*, MPLS, LPCD, etc.), uma vez que não cabe ao cliente, em princípio, avaliar as vantagens técnicas de cada uma delas. O trabalho considera, ainda, que a empresa contratante negocia um acordo com o provedor, para que um enlace de dados provisório seja instalado com capacidade super dimensionada, ou seja, muito acima das necessidades de largura de faixa oferecidas em situações semelhantes, considerando o porte da empresa, número de usuários, sistemas utilizados, entre outros. O canal deverá permanecer ativo durante um período de tempo previamente acordado, suficiente para que sejam feitas as coletas e análises necessárias. O adequado dimensionamento deste período será objeto de estudo da Subseção 3.4.4. Outro caso possível é o do cliente que deseja renovar o seu contrato e que pretende reavaliar a capacidade do canal até então utilizado.

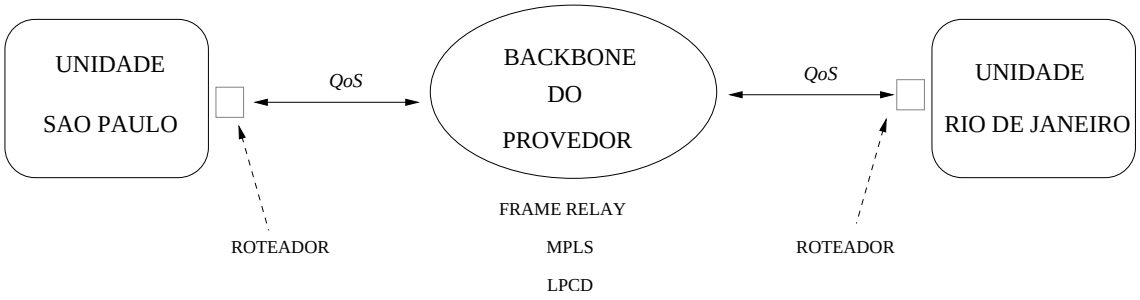


Figura 3.1: Enlace de dados ponto-a-ponto entre duas unidades funcionais de uma empresa

[1] isto porque a topologia da rede do provedor pode ser qualquer

3.4 Etapas

A metodologia proposta pode ser dividida em cinco etapas fundamentais:

1. Definição das classes de tráfego;
2. Coleta de dados;
3. Filtragem dos dados coletados;
4. Análise estatística dos dados; e
5. Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego.

A seguir, serão descritas todas as etapas do método, incluindo alguns exemplos ilustrativos.

3.4.1 Definição das classes de tráfego

Antes de agrupar os fluxos em categorias ou classes, é preciso conhecer todas as aplicações ou serviços utilizados no ambiente corporativo, identificando-os pelo nome e pelas informações que definem os fluxos correspondentes:

- Número IP do servidor onde estão hospedados os serviços e/ou das estações de trabalho clientes; e
- Número da porta ou portas utilizadas.

Em seguida, o cliente deve estabelecer o grau de importância de cada aplicação, comparando-a com as demais, de acordo com seu valor estratégico para os negócios. As

prioridades podem ser representadas por números ou pesos, numa escala que vai de 1 a 5. Ao ponderar critérios que vão desde os objetivos fundamentais da empresa, até questões como segurança, custos e imposições contratuais, esta avaliação pode apresentar resultados muito diferentes de empresa para empresa. Sistemas que podem ser críticos em um ambiente, serão subavaliados em outros. Além do valor corporativo, cada sistema pode exigir níveis de serviço específicos para apresentar um desempenho satisfatório, como no caso das aplicações multimídia.

O último passo consiste em agrupar os aplicativos listados em classes, de acordo com as prioridades já definidas pelo cliente, juntamente com as restrições técnicas inerentes às mesmas. Esta tarefa pode ser conduzida de diversas formas, não havendo como estabelecer um critério geral. Entretanto, uma possível solução, e que pode servir de base para estruturas mais complexas, estabelece três categorias de aplicativos, como segue:

- **Aplicações críticas**: sistemas considerados prioritários e que não podem estar sujeitos a interrupções ou mesmo degradação de performance;
- **Aplicações relevantes**: serviços importantes, mas que não serão comprometidos por eventuais reduções na qualidade de transmissão. O impacto para os negócios do cliente é menor se comparado às aplicações críticas; e
- **Demais aplicações**: programas secundários que não estão associados diretamente a consecução dos objetivos da empresa. A qualidade (níveis de serviço) a ser oferecida para estas aplicações, estará condicionada às reservas possivelmente garantidas para as duas primeiras.

Esta classificação representa apenas um exemplo, uma referência. O número de classes e a forma como serão definidas são opções a serem discutidas diretamente com o cliente, com o auxílio do grupo responsável pela aplicação do método.

3.4.2 Coleta de dados

Uma vez definidas as classes ou categorias de aplicações, a etapa seguinte consiste em extrair as informações relevantes sobre o tráfego, relativas aos níveis de serviço de interesse. Os níveis de serviço característicos em um contrato de aluguel de um canal digital de dados são: a disponibilidade do canal, o atraso (tempo decorrido desde a geração de um pacote na fonte até a sua recepção no destino), o *jitter* (que representa a variabilidade do atraso), a taxa ou a probabilidade de perda de pacotes [2] e a vazão [6]. Neste trabalho somente os dois últimos parâmetros serão considerados, pelos seguintes motivos:

- A disponibilidade não está relacionada com as características do tráfego e sim com falhas nos equipamentos dos provedores;
- O atraso e o *jitter*, ainda que influenciados diretamente pela capacidade ou velocidade de transmissão do canal, dependem de diversos outros fatores, como o tamanho das filas nos roteadores ou switches, a topologia do *backbone* do provedor e seus algoritmos de roteamento, a arquitetura de qualidade de serviço adotada (*DiffServ* ou *IntServ*), a capacidade de processamento dos nós da rede, entre outros. Todos estes fatores independem da natureza do tráfego e constituem características técnicas a serem manipuladas pelo próprio provedor; e
- A vazão e a taxa de perda de pacotes definem uma primeira estimativa da capacidade do canal a ser alugado. Numa etapa seguinte, se os valores toleráveis de atraso e *jitter* não forem alcançados, pequenos ajustes ainda poderão ser feitos, não necessariamente associados a aumentos na velocidade de transmissão [19] [20].

Um dos softwares utilizados para processar informações sobre o tráfego é o NetFlow, da Cisco [21], que compila todos os dados no próprio roteador e os exporta de tempos

[2] a diferença entre os dois conceitos é explicada na Subseção 3.4.4

em tempos para uma unidade de armazenamento e processamento (estação de trabalho ou servidor) que recebe o nome de coletor (Figura 3.2). No coletor, outros aplicativos são utilizados com o objetivo de formatar os dados acumulados para posterior tratamento, na etapa de análise.

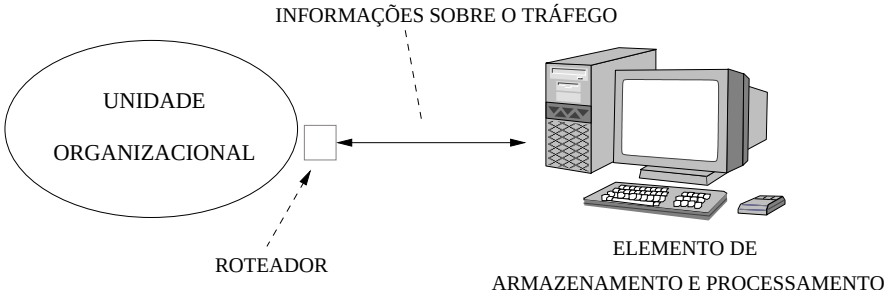


Figura 3.2: Informações sobre o tráfego na rede exportadas de um roteador para uma unidade de armazenamento e processamento

Após a criação de uma estrutura semelhante a apresentada na Figura 3.2, inicia-se a fase de obtenção dos dados. As amostras deverão ser realizadas por meio de coleta passiva [22], em intervalos de tempo constantes, cuja duração deve levar em conta alguns fatores, abaixo listados:

- Volume de tráfego esperado;
- Recursos computacionais disponíveis; e
- Período de tempo acordado com o provedor para a realização da coleta.

Intervalos muito pequenos entre a coleta de amostras sucessivas podem levar a um volume de dados muito grande, impossível de ser manipulado se o coletor não for suficientemente robusto. Além disso, é preciso evitar a amostragem destrutiva [22], que ocorre quando o fluxo de dados entre o roteador e o coletor tornar-se significativo se comparado com os fluxos efetivos, podendo ter influência nos resultados das estimativas.

3.4.3 Filtragem dos dados coletados

A filtragem das amostras tem por objetivo selecionar os dados que efetivamente representam o tráfego esperada no enlace. Dois aspectos precisam ser considerados: o período (instante de tempo) a que se referem as amostras (hora, dia do mês ou da semana) e a identificação de valores inconsistentes, resultantes de problemas como falta de energia, interrupção dos serviços no roteador ou coletor, vírus, *spywares* e outros. Em relação ao instante de leitura dos dados, não podem ser consideradas, por exemplo, amostras obtidas fora do horário do expediente, referentes a aplicações utilizadas somente neste período. Da mesma forma, finais de semana e feriados devem ser analisados separadamente. Podem existir, entretanto, programas que funcionem ininterruptamente, 24 horas por dia, todos os dias da semana, para os quais todo o universo das amostras precisa ser considerado. Para ilustrar a necessidade da filtragem dos dados, um bom exemplo é o da da Rede Rio [23], que será mais bem explorado no Capítulo 4. A Fig.3.3 apresenta as amostras do tráfego na rede, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico, contabilizando todos os fluxos que entram e saem no *backbone* através do enlace com a Embratel.

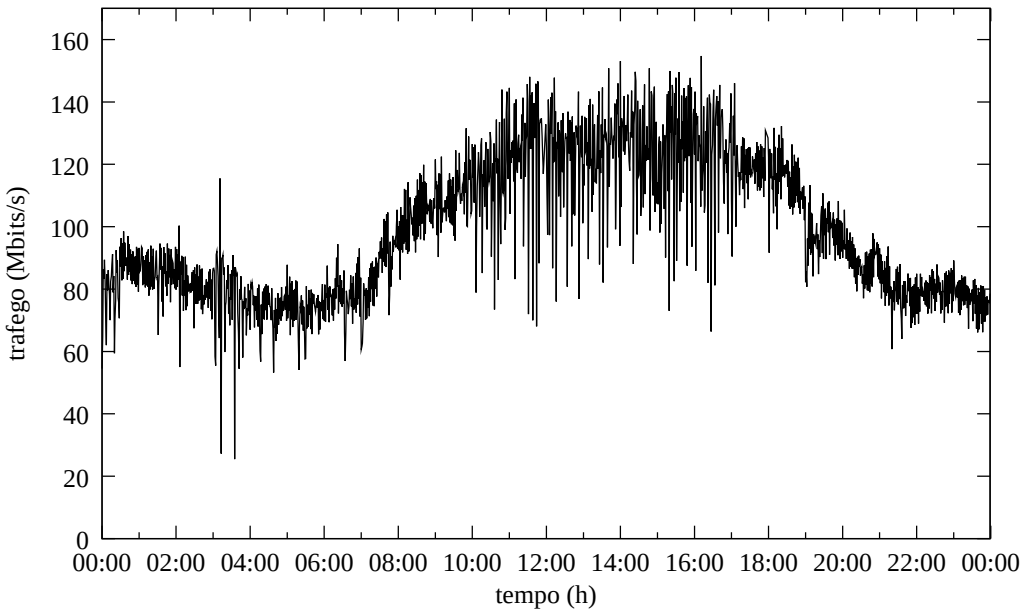


Figura 3.3: Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico

Por se tratar de uma rede que envolve universidades e instituições de pesquisa, o início das atividades se dá por volta das 08:00h e se prolonga até às 18:00h, com uma redução gradual que se estende até às 23:00h. Como pode ser observado, a curva apresenta um acentuado crescimento dos valores da vazão no horário do expediente. Sendo assim, seria um erro tratar as amostras obtidas fora deste período como pertencentes ao conjunto de dados válidos para a geração de estatísticas. As informações referentes ao tráfego dentro e fora do horário de expediente não representam um mesmo conjunto de valores, uma mesma distribuição. Para demonstrar visualmente o erro que estaria sendo introduzido, o gráfico da Figura 3.4 contém o histograma de todos os valores amostrados ao longo das 24 horas.

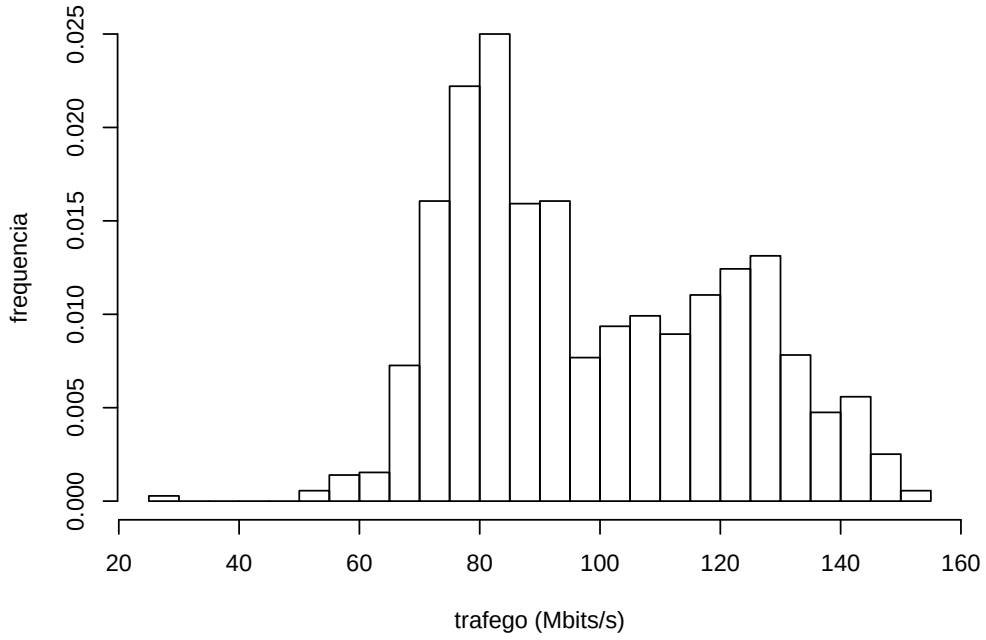


Figura 3.4: Histograma das amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico

Como reúne valores produzidos em situações distintas, o histograma apresenta-se desbalanceado, e não exibe nenhum tipo de padrão. Quando as amostras consideradas válidas são recolhidas somente entre as 10:00h e as 16:00h, que foi denominada região de corte, a curva apresenta um comportamento mais estável, sugerindo que o sistema saiu de um estado transiente e atingiu um padrão estacionário (Figura 3.5).

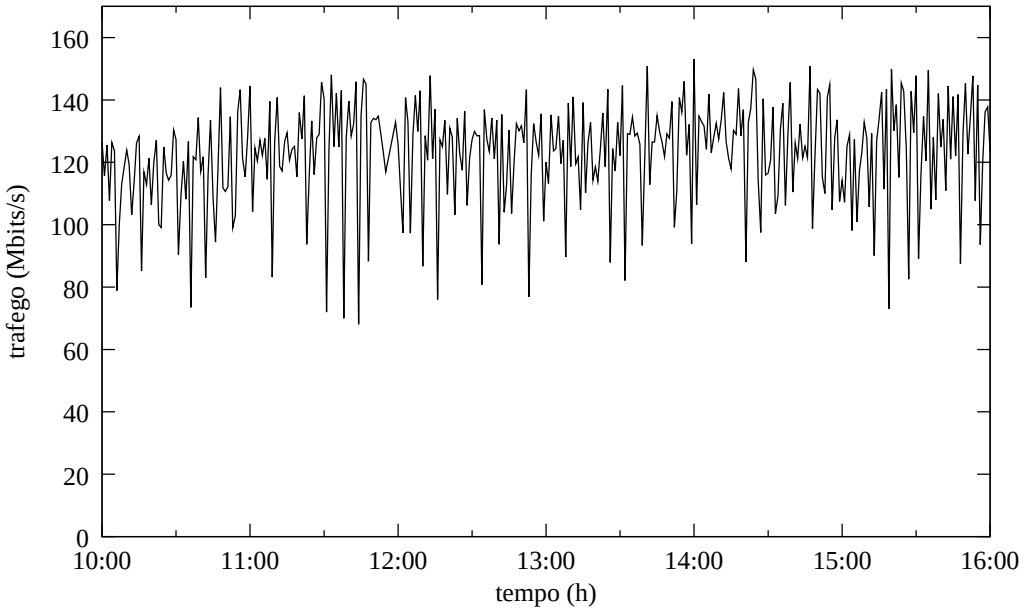


Figura 3.5: Tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte)

Da mesma forma, o histograma restrito à região de corte reflete a estabilidade atingida pela carga no enlace, apresentando um comportamento mais próximo de uma curva normal (desconsiderando os valores negativos que esta distribuição pode assumir), embora com assimetria à direita (Figura 3.6).

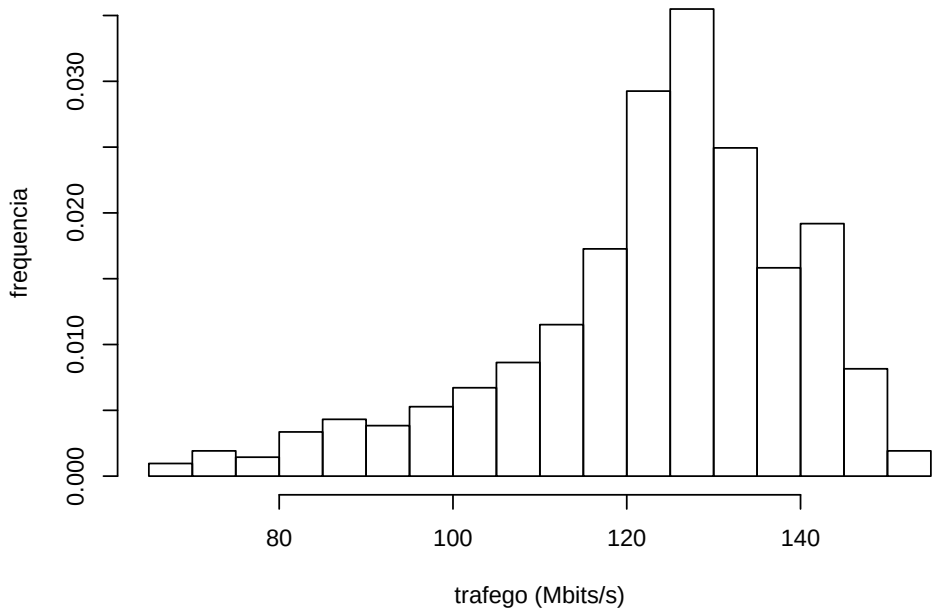


Figura 3.6: Histograma do tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte)

Um última comparação visual pode ser apresentada, considerando as curvas de distribuição cumulativa empírica ou *empiric cumlative distribution* (ecdf), cujo conceito será explorado na Subseção referente à análise estatística dos dados 3.4.4. As duas situações são ilustradas pelos gráficos das Figuras 3.7 e 3.8.

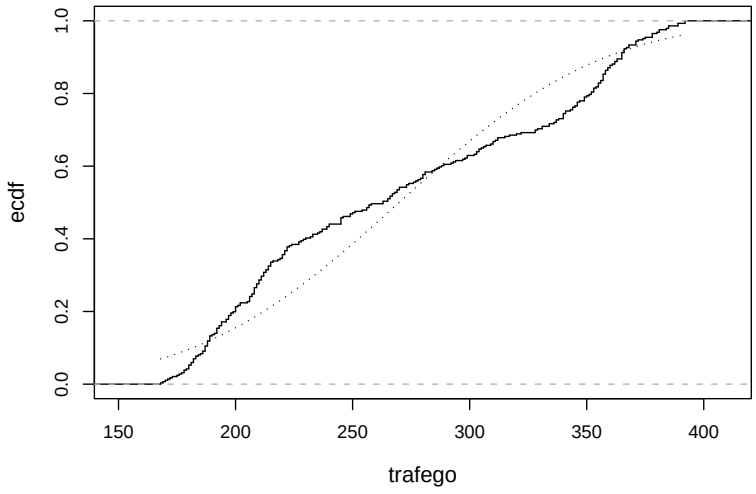


Figura 3.7: Distribuição cumulativa das amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico

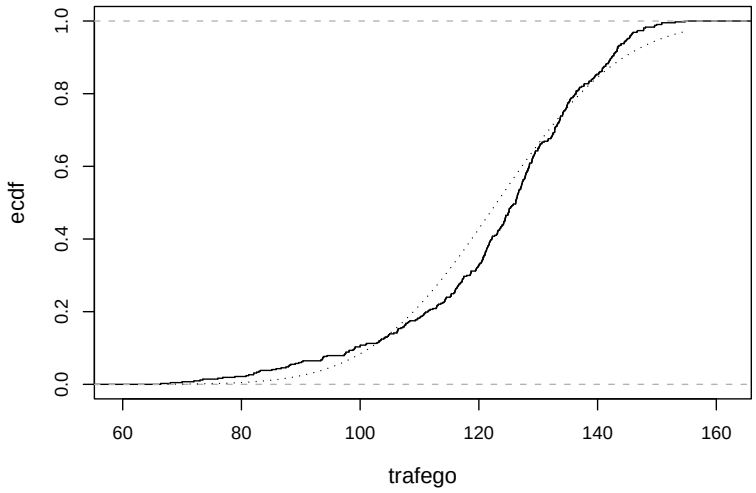


Figura 3.8: Distribuição cumulativa do tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte)

Para facilitar a comparação, as curvas normais correspondentes aos dois conjuntos de amostras também foram plotadas, de acordo com os respectivos valores de média e desvio padrão amostrais. Novamente, percebe-se a irregularidade da curva quando são inseridas todas as amostras e a tendência de se aproximar de um padrão, quando os dados são filtrados.

Com relação a inclusão de dados inconsistentes, um exemplo de como as amostras podem ser comprometidas está ilustrado na Figura 3.9, que se refere ao estudo de caso da Marinha do Brasil (Seção 4.3). O pico que aparece no gráfico poderia perfeitamente traduzir uma amostra real, correta. Entretanto, uma investigação mais detalhada revelou que se tratava de um ataque do tipo *host scan* (várias máquinas de uma mesma rede sendo acessadas sucessivamente, na mesma porta). Todos os valores de vazão, distorcidos em razão do ataque, foram descartados. Este caso demonstra a necessidade de uma observação cuidadosa de todas as amostras obtidas, procurando eliminar as que não representem fluxos reais, produzidos pelos serviços corporativos. Esta tarefa pode consumir um tempo muito grande e inviabilizar a tentativa de automação do método, como será mais bem discutido na Seção 3.6.

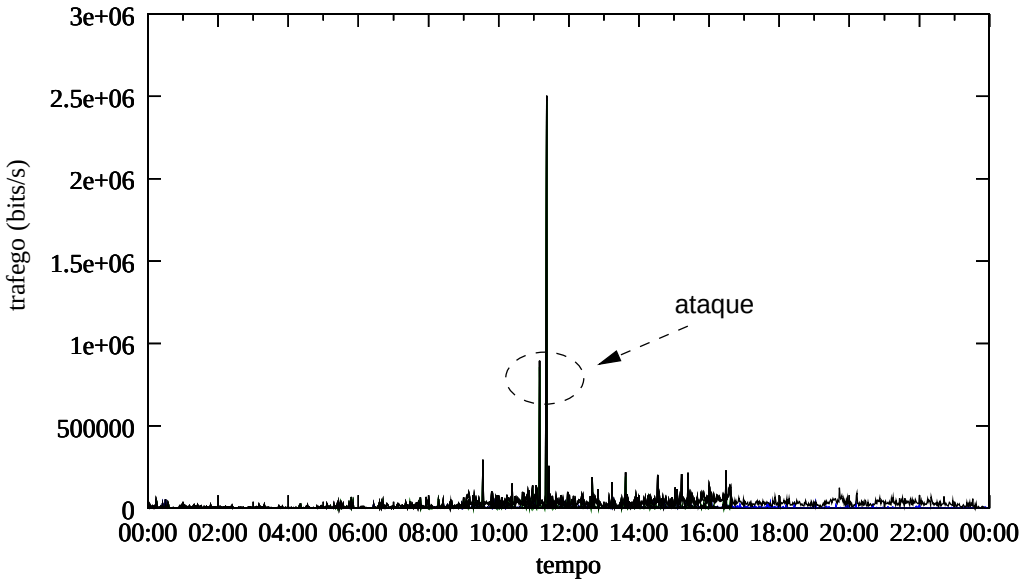


Figura 3.9: Comprometimento de parte das amostras do tráfego de dados da rede corporativa da Marinha do Brasil, provocado por um ataque do tipo *host scan*

3.4.4 Análise estatística dos dados

O passo seguinte consiste em definir o comportamento estatístico da vazão no enlace e com base nessa informação, estabelecer a capacidade do canal (C) que garanta uma probabilidade de perda (P_{perda}) inferior a um limite pré-estabelecido. Este procedimento deve ser realizado para o tráfego como um todo e repetido, separadamente, para cada classe de fluxos.

Antes, porém, de apresentar a forma através da qual serão obtidos os resultados, é preciso justificar a opção pelo critério da probabilidade de perda como nível de serviço, ao invés da taxa de perda, mais amplamente difundida e normalmente citada nos trabalhos sobre SLA [9]. Tratam-se de métricas distintas. No primeiro caso, considera-se a fração das amostras em que uma parte (não especificada) dos dados foi perdida, enquanto no segundo, mede-se a proporção entre o volume efetivo de pacotes (ou bits) enviados e descartados, denominado *workload loss ratio* (WLR) [9]. Assim:

$$P_{perda} = P(ocorrer\ perda), \quad WLR = \frac{E[(X-C)^+]}{E[X]}$$

onde o operador $E[\,]$ representa a média estatística e X, o tráfego no canal. Vale observar que, em se tratando de uma análise estatística, tanto a probabilidade de perda, quanto WLR serão obtidas a partir de amostras. Uma vez que:

$$P_{perda} = \lim_{n\to+\infty}\Big(\frac{n_{perda}}{n}\Big), \quad WLR = \lim_{n\to+\infty}\Big(\frac{\overline{(X-C)^+}}{\overline{X}}\Big)$$

onde n é o número total de amostras, n_{perda} é o número de amostras em que houve perda (saturação) de pacotes e x é o operador que representa a média amostral, os resultados obtidos serão aproximações, com um grau de precisão definido pelo número n de amostras.

A Figura 3.10 demonstra a diferença entre P_{perda} e WLR, através do gráfico ilustrativo do tráfego observado em um enlace de dados.

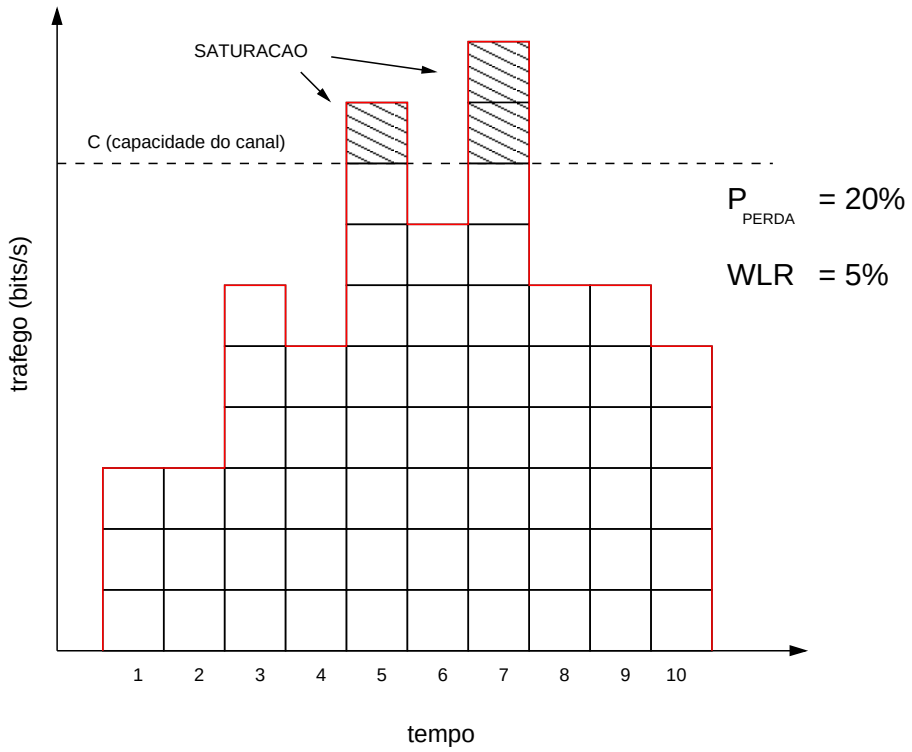


Figura 3.10: Gráfico ilustrativo comparando os conceitos definidos de probabilidade de perda (P_{perda}) e taxa de perda (WLR)

Na situação proposta, a P_{perda} é igual a 20%, uma vez que em dois segmentos de tempo, de um total de 10, houve perda de pacotes. Diz-se que, nestes pontos, ocorreu saturação do canal. Por sua vez, a taxa média de perda foi somente de 5%, já que apenas 3 pacotes (ou bits) foram supostamente descartados e o gráfico possui 60. Ou seja, é possível perceber, através do exemplo, que $P_{perda} > WLR$, para um mesmo limite de largura de faixa. Isto só não seria verdade se o valor de C fosse muito pequeno se comparado com o tráfego médio no canal, o que não será o caso. No exemplo, para obter um valor de P_{perda} de 5%, a capacidade do canal precisaria ser maior do que a apresentada. Sendo assim, calcular a capacidade para o enlace, com base na probabilidade de perda, produz um resulado mais conservador (valor maior de C) do que considerando a taxa média de perda e por isso a opção por esta métrica. Além disso, a formulação de estimativas sobre

WLR é um processo bem mais complexo [9] e poderia não gerar resultados satisfatórios no período de tempo acordado para o recolhimento das amostras.

Cálculo da capacidade do canal:

Para calcular C, alguns estudos [24] consideram a probabilidade de saturação do canal, definida como $P_{sat} \triangleq P(X > C)$, como uma boa aproximação para P_{perda}. De fato, levando-se conta em que as filas nos nós da rede permitem que ocorra saturação no canal, sem que necessariamente haja perda de pacotes, $P_{perda} \leq P_{sat}$. Ou seja, P_{sat} é um limite superior (*upper bound*) para P_{perda}, o que é coerente com o princípio da opção pelo resultado mais conservador, observado na elaboração do método.

Para obter C em função de $P_{perda} \approx P_{sat}$, o método propõe que se estime a função de distribuição de probabilidade $F_X(x)$ que caracteriza adequadamente o tráfego, uma vez que:

$$F_X(x) \triangleq P(X \leq x) \tag{3.4}$$

$$P_{perda} \approx P_{sat} = 1 - F_X(C) \tag{3.5}$$

Observação: Doravante, neste estudo, as expressões P_{perda} e P_{sat} serão usadas com o mesmo sentido.

Para estimar $F_X(x)$, com base nas amostras coletadas, cada valor único observado (x_i) deve ter a ele associada uma freqüência relativa (f_i), que corresponde ao número total de ocorrências de x_i dividido pelo número total de amostras n. Assim:

$$f_i = \frac{\text{número total de ocorrências de } x_i}{n} \tag{3.6}$$

Em seguida, calcula-se a função de distribuição cumulativa empírica dos dados observados ou *empirical cumulative distribution function* (ecdf), uma função escada, com saltos de altura f_i, em cada um dos pontos x_i (Figura 3.11).

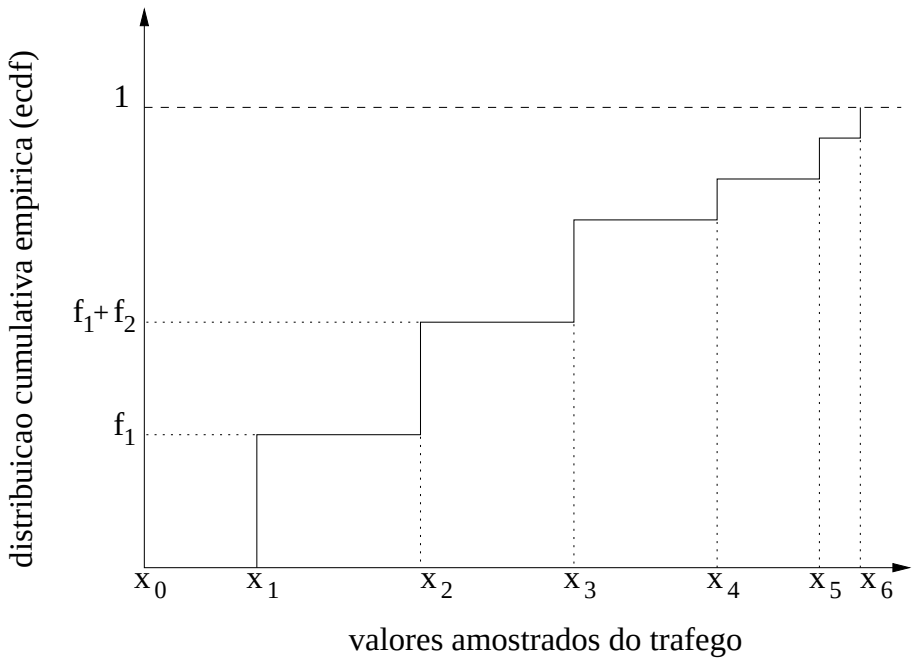


Figura 3.11: Definição de *distribuição cumulativa empírica (ecdf)* como uma função escada, com saltos correspondentes a freqüência relativa f_i, relativos a cada valor amostrado de tráfego, x_i

Quando n tende para infinito, a ecdf converge para função de distribuição cumulativa do tráfego. Finalmente, define-se uma valor para C, através de um nível de confiança a ser determinado (95%, por exemplo), de tal forma que a probabilidade de perda ou saturação seja menor ou igual ao percentual máximo estabelecido (Figura 3.12).

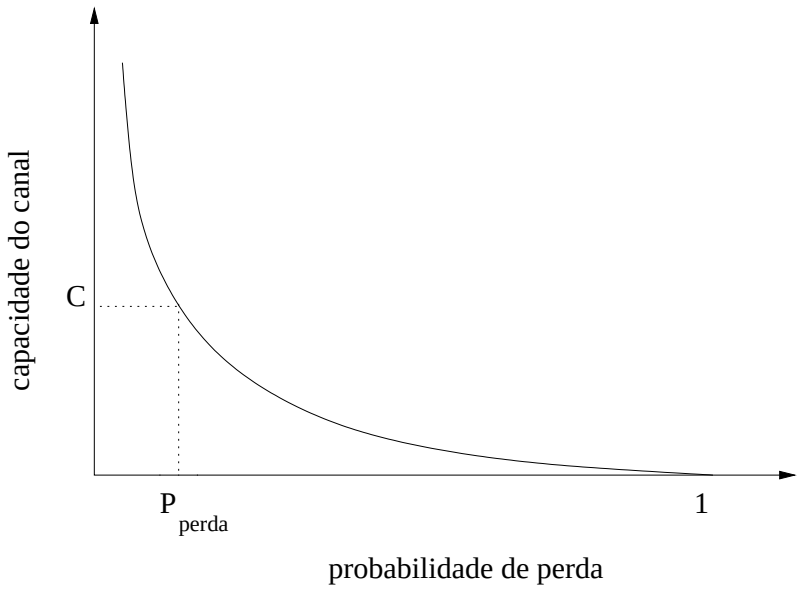


Figura 3.12: Capacidade C de um enlace digital de dados que garante uma probabilidade de perda inferior a um valor pré-estabelecido, P_{perda}

Cálculo do intervalo de confiança:

O intervalo de confiança dos valores estimados para a capacidade do canal pode ser definido como $(C - \varepsilon,\ C + \varepsilon)$, sendo ε a margem de erro. A fórmula do valor de ε, com base no desvio padrão amostral (V_n), no número de amostras (n) e em um nível de confiança $(1 - \alpha) \times 100\%$, poderia ser obtida através da equação 3.7, caso a vazão no canal (X) fosse modelada por meio de uma distribuição normal.

$$\varepsilon = \pm \frac{z_{\alpha/2,n-1} * V_n}{\sqrt{n}} \text{ onde } z \backsim Student(\alpha/2, n-1) \tag{3.7}$$

Como, em princípio, X não é uma variável aleatória gaussiana e nem tampouco são conhecidos o seu valor médio e desvio padrão, uma possível solução para o cálculo do intervalo de confiança consiste em dividir os dados coletados em n_g grupos, cada qual com um número suficientemente grande de amostras [25]. Para cada grupo, equivalente, por exemplo, à coleta de um dia, obtém-se a ecdf correspondente. A partir daí, a variável aleatória a ser considerada passa a ser a função *quantile*, $Q(q)$, referente a cada grupo (ou dia), assim definida:

$$\text{(dado } q\text{, o menor valor de x tal que)} \quad P(X \leq x) > q \tag{3.8}$$

onde q representa o complemento das possíveis probabilidades de perda consideradas (10%, 1% e 0,1%, por exemplo). O valor da função *quantile*, em cada ponto q considerado, pode ser tratado como uma variável gaussina, uma vez que representa o valor médio de um número grande de amostras (teorema do limite central), o que permite a aplicação da equação 3.7, considerando o desvio padrão amostral do valor de $Q(q)$ entre os n_g grupos criados (Figura 3.13).

Resta ainda um problema: não é possível, *a priori*, estabelecer o número n de amostras necessário para garantir um erro ε proporcionalmente pequeno em relação a capacidade C, calculada para o canal. Assim sendo, será necessário aplicar o método a um

número inicial de amostras e calcular o valor proporcional do erro para cada valor de perda considerado, ou seja, $\varepsilon/Q(q)$. Se o erro for muito grande, o número de amostras terá sido insuficiente e mais dias de coleta serão necessários. Uma análise mais detalhada da questão do número ideal de amostras será discutida na Subseção 4.3.6

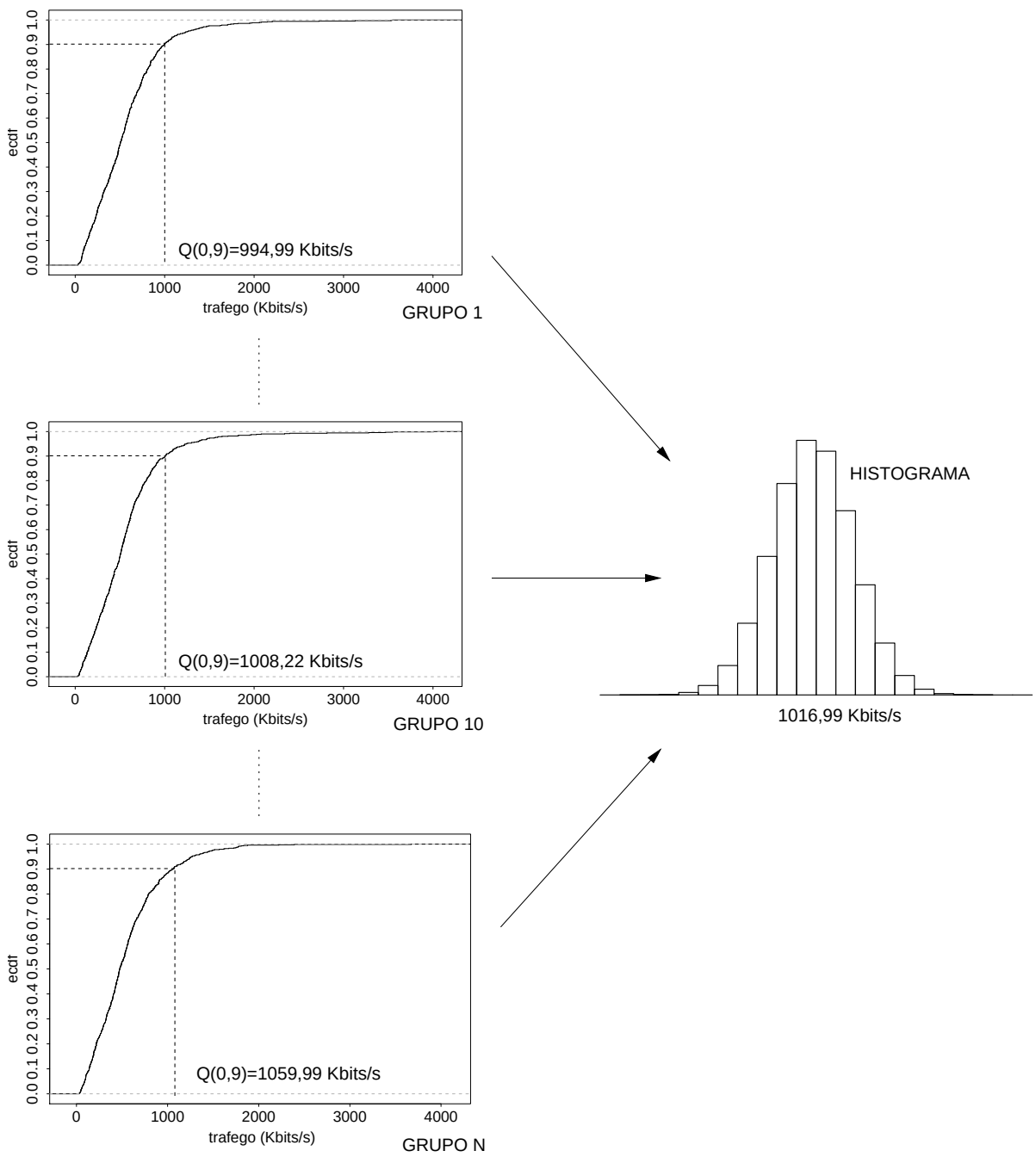


Figura 3.13: Exemplo de distribuição dos quantiles (Q) correspondentes a uma probabilidade de perda pré-estabelecida (10%), para cada um dos n_g grupos em que as amostras do tráfego venham a ser divididas

Considerações e Hipóteses Simplificadoras:

- A aplicação da técnica sugerida deveria partir do pressuposto de que as amostras do tráfego são independentes e identicamente distribuídas (iid), o que não é o caso. Porém, assumir esta hipótese reduz significativamente a complexidade do tratamento dos dados e, como pôde ser observado nos estudos de caso, não compromete a correção dos resultados obtidos. Concessão semelhante é aplicada na modelagem do intervalo de chegada entre pacotes na porta de entrada de um roteador.

- Um fator que pode comprometer a precisão dos resultados está associado aos intervalos de tempo (Δt) que determinam os valores coletados do tráfego, uma vez que:

$$x_i = \frac{\text{número total de bits}}{\Delta t}$$

  Quanto maiores os intervalos Δt, maior a probabilidade de que as rajadas ou picos passem despercebidos, o que pode alterar o formato da curva de distribuição. Todavia, como já foi dito, intervalos muito pequenos para amostragem podem levar a volumes de informação muito grandes, por vezes impossíveis de serem tratados computacionalmente, em função dos recursos disponíveis.

3.4.5 Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego

A decisão do cliente sobre a largura de faixa ser contratada deve ser assessorada pelos técnicos que conduziram os testes. A escolha estará condicionada aos custos de aluguel do enlace, contrapostos às probabilidades toleráveis de saturação. Assim sendo, deve ser

montada uma tabela com os valores sugeridos para P_{sat} e as correspondentes capacidades de transmissão exigidas, acrescida dos custos associados. Como não há um critério absoluto para tomada desta decisão, uma possível alternativa seria garantir as menores probabilidades de saturação, alocando a largura de faixa correspondente, para as categorias de fluxos consideradas prioritárias, seja através de circuitos virtuais ou por meio de políticas implementadas nos roteadores (arquitetura *Diffserv*). Quanto à capacidade total do enlace, sugere-se um nível de serviço menos rigoroso, mas que ainda assim preserve um mínimo de qualidade para as classes de menor importância. Os exemplos de aplicação da metodologia que se encontram no Capítulo 4 apresentam casos concretos deste tipo de escolha e facilitam o entendimento da idéia aqui proposta.

Um último detalhe precisa ser destacado. Aparentemente, a capacidade total calculada para o enlace C, considerando um determinado valor de P_{sat}, poderia ser obtida através do somatório das demandas de cada classe (ΣC_i), para a mesma probabilidade de perda. Entretanto, estes valores são distintos ($C < \Sigma C_i$), isto porque a adição pura e simples elimina o efeito de suavização, observado quando variáveis aleatórias são sobrepostas [26]. Este aspecto também será abordado nos estudos de caso.

3.5 Fluxograma

As etapas da metodologia proposta podem ser apresentadas esquematicamente por meio do fluxograma da Figura 3.14. O objetivo do fluxograma é o de facilitar o emprego do método apresentado e ilustrar o compromisso deste estudo com a criação, ainda que embrionária, de um mecanismo simples, todavia aplicável e que produz resultados consistentes.

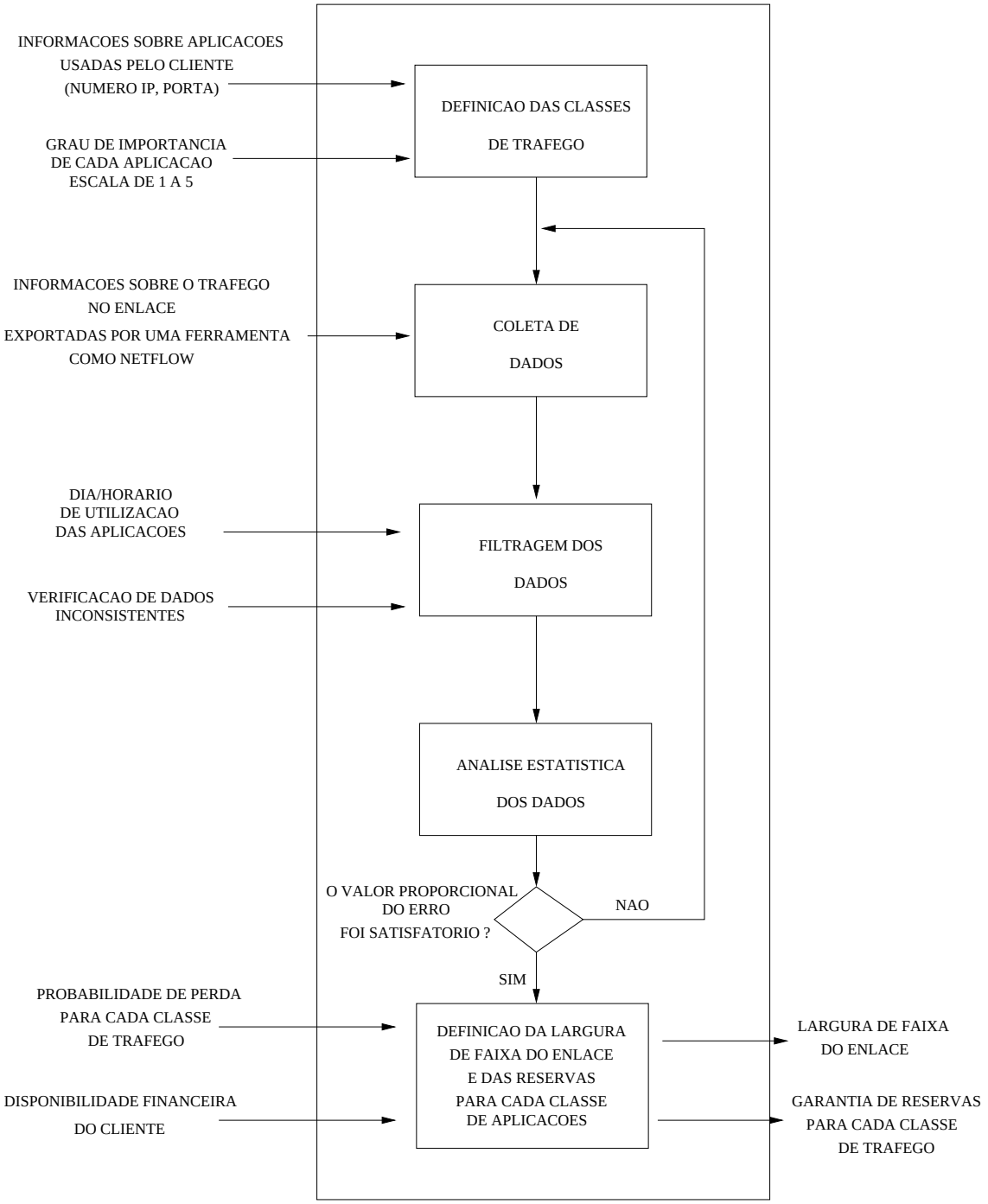


Figura 3.14: Fluxograma que apresenta esquematicamente as etapas da metodologia proposta para estimativa de necessidades em contratos de nível de serviço

3.6 Conclusão

O método elaborado neste estudo poderia realizar de forma automática boa parte das etapas propostas, uma vez que apenas a definição das classes de aplicações e a decisão final sobre a largura de faixa a ser contratada dependeriam de avaliações subjetivas do cliente. Entretanto, as particularidades observadas em cada ambiente podem vir a dificultar esta tarefa. Falhas na estrututa montada para a para a coleta, vírus, mudanças no comportamento do tráfego por conta de feriados e períodos com carga de trabalho excessiva entre outros, são fatores que impõe a necessidade constante da intervenção humana para acompanhar e corrigir o processo. Da mesma forma, a experiência adquirida nos estudos de caso apresentados no Capítulo 4 alerta para a necessidade de tratar o estudo de cada rede como um caso único, em função de suas características próprias. Ainda assim, os conceitos aqui introduzidos, se aperfeiçoados e customizados, podem levar a mecanismos com um grau de automação satisfatório. Propostas neste sentido são discutidas no Capítulo 5, que apresenta a conclusão deste estudo.

Capítulo 4

Aplicação da metodologia proposta em dois estudos de caso

NESTE capítulo serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia proposta em dois ambientes distintos. No primeiro caso, a avaliação foi feita na Rede Rio [23], considerando todos os fluxos que entram e saem do *backbone* principal. Este primeiro exemplo, embora não represente fielmente o cenário que se deseja reproduzir, é extremamente válido pela riqueza e pelo volume dos dados considerados. O segundo ambiente diz respeito a um enlace corporativo contratado pela Marinha do Brasil junto à INTELIG, para interligar Brasília ao Rio de Janeiro e que corresponde ao contexto ideal para a validação do método. Trata-se de um canal simples, ponto-a-ponto. Em ambos os casos, serão apresentadas as medições efetuadas e o tratamento conferido às mesmas. As conclusões obtidas validam a metodologia proposta e fornecerem subsídios importantes para a elaboração de contratos de nível de serviço.

4.1 Rede Rio

A Rede Rio (RR) [23], uma rede de computadores integrada por universidades e centros de pesquisa localizados no Estado do Rio de Janeiro, tem a FAPERJ como órgão responsável pelo financiamento e coordenação. A RR está conectada à Rede Nacional de Pesquisa (RNP), espinha dorsal das redes acadêmicas do Brasil, através do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). A outra grande porta de entrada e saída é garantida por um enlace contratado junto à Embratel. A RR também integra o projeto da Rede Metropolitana de Alta Velocidade do Rio de Janeiro (REMAV/RJ). O desenho esquemático contendo a topologia da RR encontra-se na Figura 4.1.

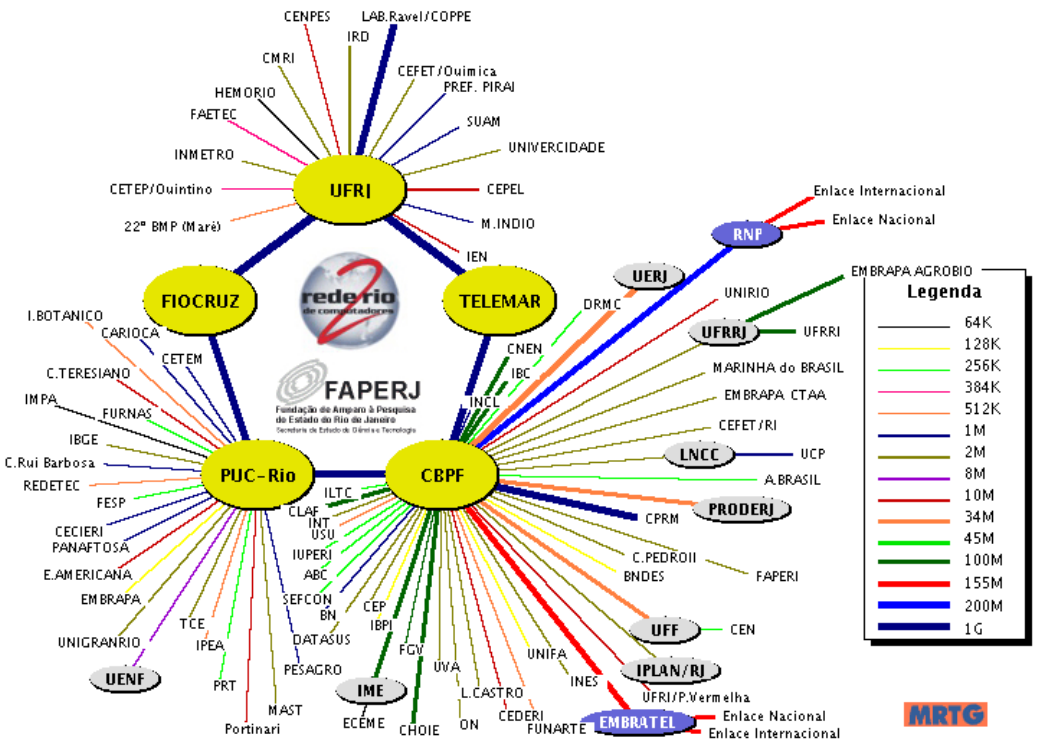


Figura 4.1: Topologia da Rede Rio

As informações sobre o tráfego na Rede Rio que foram utilizadas neste estudo consideram o somatório de todos os fluxos que entram e saem do *backbone* principal através do enlace com a Embratel, como ilustrado na Figura 4.2.

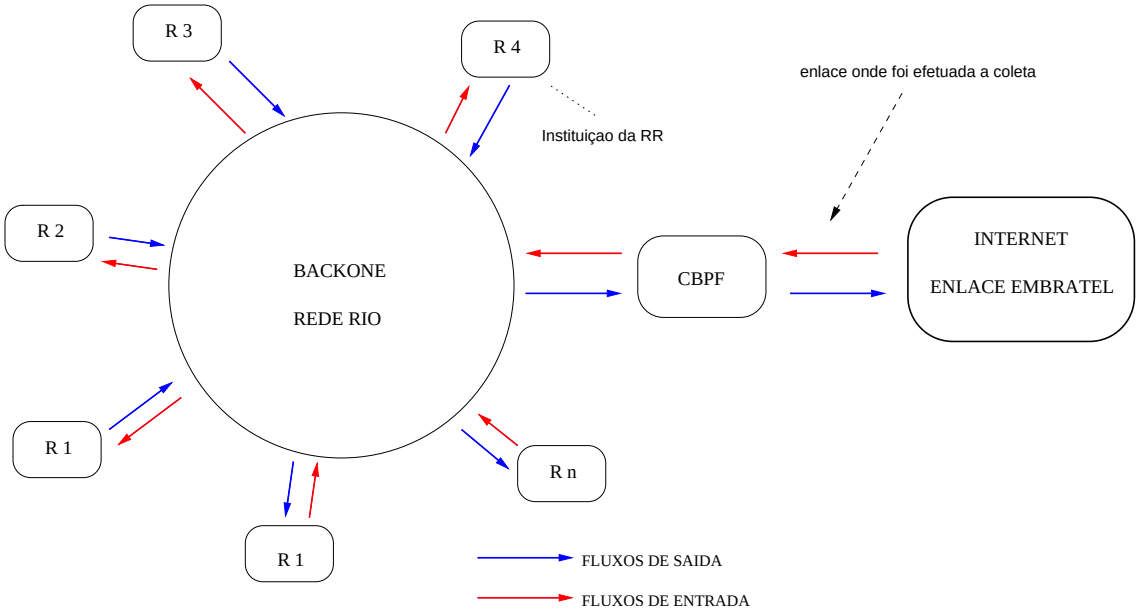


Figura 4.2: Esquema que ilustra o local de obtenção das amostras sobre o tráfego na Rede Rio, o enlace de entrada e saída do *backbone* com a Embratel

O cenário apresentado não corresponde exatamente àquele definido pela metodologia, um ambiente simples em que um único enlace de dados interliga duas unidades (matriz, filial, subsidiárias) de uma mesma corporação. Entretanto, é possível utilizá-lo como exemplo, se imaginarmos o *backbone* como um grande enlace virtual, por onde passam pacotes que entram e saem da rede, como mostra a Figura 4.3.

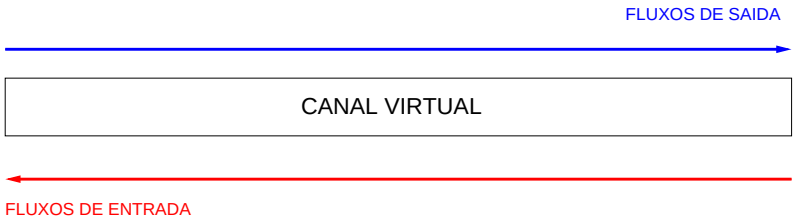


Figura 4.3: *Backbone* da Rede Rio como um enlace virtual

Desta forma, a metodologia proposta pôde ser aplicada em um canal, ainda que virtual, por onde circulam fluxos oriundos de mais de 400 mil usuários, pertencentes a 89 instituições de ensino e pesquisa [23].

A seguir, serão apresentados todos os passos do método aplicados ao caso.

4.1.1 Definição das classes de tráfego

Como não havia a figura de um cliente que pudesse priorizar os fluxos de dados de acordo com as regras de negócio da empresa, como sugere a metodologia, as classes de tráfego foram estabelecidas levando-se em conta somente suas características intrínsecas. Foram considerados quatro tipos de aplicações, identificados como o auxílio da relação de portas conhecidas e registradas no *Internet Assigned Numbers Authority* [27]:

- *Classe 1: Aplicações adaptativas ou elásticas*

  São as aplicações TCP genéricas, que possuem controle de fluxo e congestionamento.

Tabela 4.1: Aplicações adaptativas ou elásticas

PROTOCOLO	NOME	PORTAS
HTTP	Hiper Text Transfer Protocol	80
HTTPS	Hiper Text Transfer Protocol Secure	443
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	25
POP	Post Office Protocol	110
FTP	File Transfer Protocol	20
SSH	Secure Shell	22
Telnet	Terminal Emulation	23
DNS	Domain Name Service	53
NTP	Network Time Protocol	123
NNTP	Network News Transfer Protocol	119

- *Classe 2: Aplicações não adaptativas*

  Correspondem, no caso geral, aos fluxos UDP. Destacam-se os serviços *Peer-to-Peer* (P2P) e de mensagens instantâneas

Tabela 4.2: Aplicações não adaptativas

PROTOCOLO	NOME	PORTAS
P2P	Kazaa	1214
P2P	BitTorrent	6881 a 6889
P2P	EDonkey	4661
P2P	eMule	4662 e 4672
P2P	Gnutella	6346
IM	Aol Instant Messenger	5190
IM	MSN Messenger	1863
IM	Google Talk	5222
Protocolo MS	NetBios	139, 137 e 445
Protocolo MS	MS-SQL	1434
Protocolo MS	DCOM	1024 a 1028
Protocolo LDM	Unidata	388

- *Classe 3: Aplicações em Tempo Real*

  Aplicações de voz e vídeo em tempo real. Programas deste tipo são mais exigentes com relação aos valores máximos tolerados de atraso e *jitter*.

Tabela 4.3: Aplicações em tempo real

PROTOCOLO	NOME	PORTAS
RTSP	Real Time Streaming Protocol	554
MSP	Microsoft Streaming Protocol	1775
H.323	ITU Standard for Videoconferencing	1718 a 1720
VoIP	Voice over IP	1071

Problemas Encontrados: A principal dificuldade encontrada na etapa de classificação dos fluxos na RR foi o fato de que um percentual significativo dos mesmos (cerca de 30%) não fazia parte de nenhuma das classes pré-definidas. Ou seja, considerando-se o tráfego referente às portas das aplicações selecionadas, ainda restava uma parcela significativa dos fluxos não identificada. Além disso, a distribuição dos fluxos entre portas, a partir da porta 8000 (aproximadamente) é praticamente uniforme, como mostra a Figura 4.4. Assim sendo, o tráfego não identificado estava espalhado em mais de 50000 portas diferentes, não sendo possível identificar que tipos de aplicações seriam responsáveis pela geração destes fluxos. A solução, pelo critério de simplicidade, foi considerá-los apenas como ”outros tipos de fluxo”, alocando-os na categoria 4.

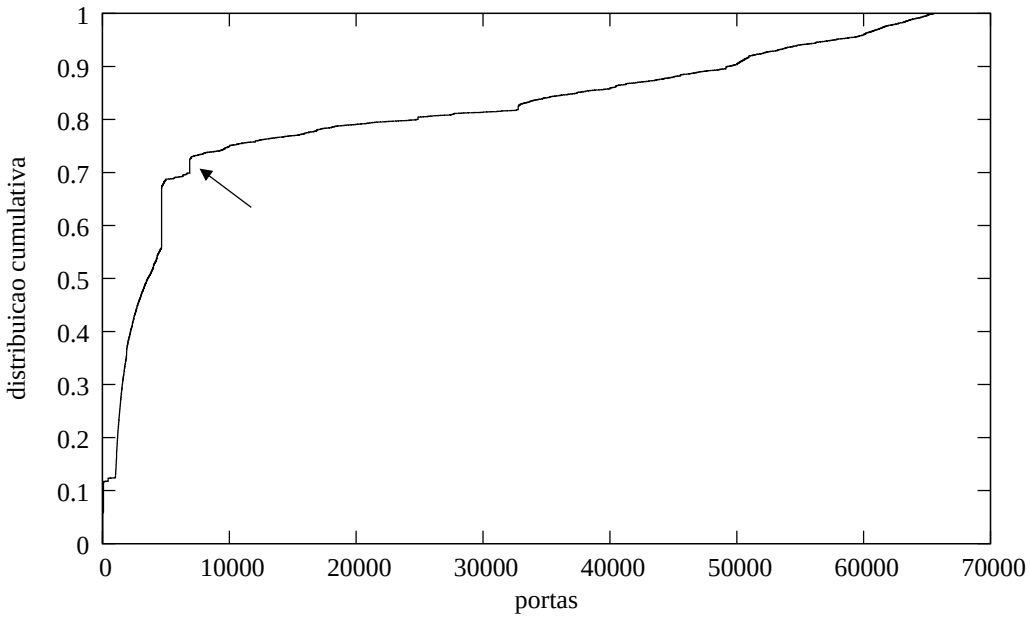


Figura 4.4: Distribuição cumulativa dos fluxos entre portas das amostras do tráfego coletado na Rede Rio

4.1.2 Coleta de dados no enlace a ser contratado

As informações utilizadas neste estudo foram obtidas a partir de uma estrutura já existente para coleta e análise de dados da RR e que representa uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Redes de Alta Velocidade (Ravel) da COPPE-UFRJ, conhecido como IPTRAF [28]. Os dados foram coletados entre os dias 7 e 29 de março de 2005, em intervalos de 1 minuto. No total, foram recolhidas 33120 amostras para cada classe de tráfego e para a vazão total. A Figura 4.5 exibe um gráfico relativo a um único dia de coleta, contendo as curvas do tráfego total e de cada uma das classes.

Observação: a numeração das classes não está associada a prioridade que lhes será atribuída.

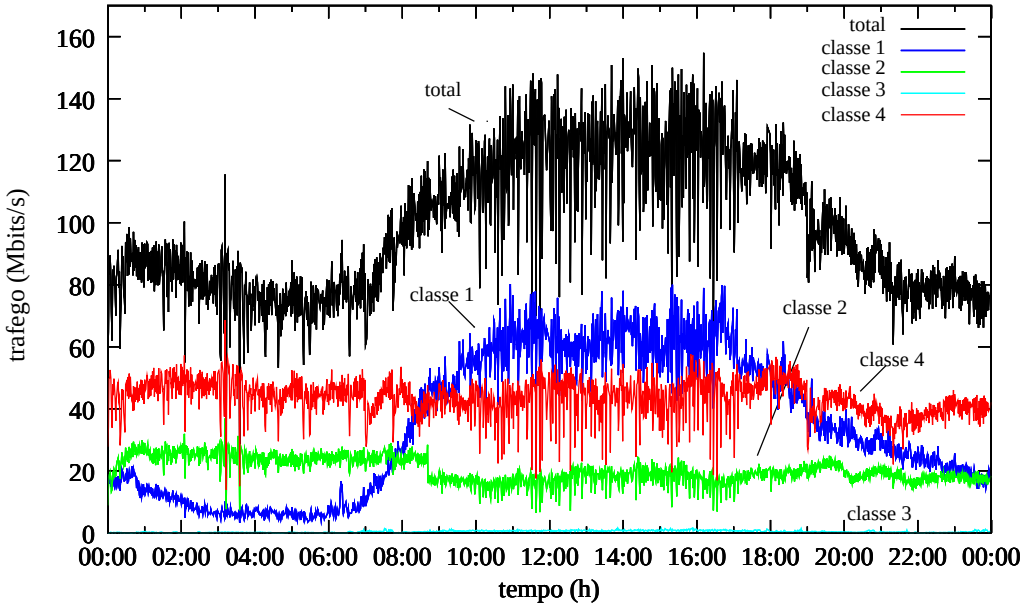


Figura 4.5: Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico, dividido por classes

A observação do gráfico na Figura 4.5 permite chegar a algumas conclusões:

- A semelhança entre as curvas das classes 2 e 4 indica que há pode haver alguma relação entre os dois tipos de fluxos. Para verificar a existência deste vínculo, calculou-se o coeficiente de correlação de *Pearson* (r) (equação 4.1) entre estes fluxos, num período de seis dias.

$$r = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \Sigma(y_i - \bar{y})^2}} \tag{4.1}$$

  Tomando-se as amostras ao longo de todo o dia, o valor obtido foi de 0,57. Entretanto, ao considerar as leituras realizadas entre às 10:00h e às 16:00h, este valor chegou a 0,80. O valor máximo de correlação é igual a 1, quando as variáveis são absolutamente dependentes, ou seja, proporcionais. Portanto, havia indícios de que o tráfego da classe 4 seria decorrente de aplicações P2P e optou-se por tratá-lo como tal, reunindo as classes 2 e 4 numa mesma categoria, denominada simplesmente P2P (Figura 4.6);

- O tráfego gerado pelos fluxos P2P apresenta um comportamento uniforme ao longo de todo o dia, com pouca alteração entre o início e o término do expediente. A razão para tal fato reside no uso ininterrupto de aplicações *peer-to-peer*, uma vez que não é necessária a presença de um usuário diante do computador para fazer o *download* de músicas e vídeos. Ou seja, as máquinas permanecem ligadas 24 horas por dia, baixando arquivos; e

- O tráfego das aplicações das classes 1 e 3 está diretamente relacionado com o horário do expediente, fato este que deve ser levado em consideração na etapa de filtragem das amostras.

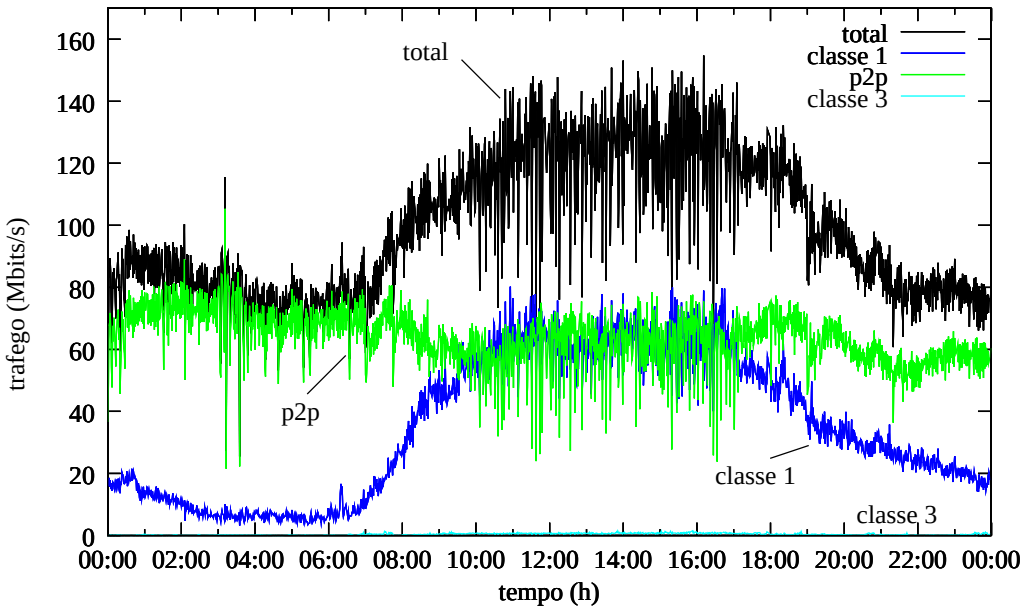


Figura 4.6: Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico, considerando as classes 2 e 4 reunidas como P2P

4.1.3 Filtragem dos dados coletados

Levando-se em conta as observações realizadas na etapa de coleta, os seguintes critérios foram estabelecidos para filtragem das amostras:

1. Para os fluxos das classes 1 e 3, somente as amostras coletadas no horário normal de trabalho foram consideradas, mais especificamente entre as 10:00h e as 16:00h, período em que as curvas do tráfego apresentam-se mais estáveis. Feriados e finais de semana também foram descartados. As Figuras 4.7 e 4.8 mostram as curvas ao longo de todo o dia e no trecho de corte; e

2. Todas as amostras da categoria P2P foram aproveitadas.

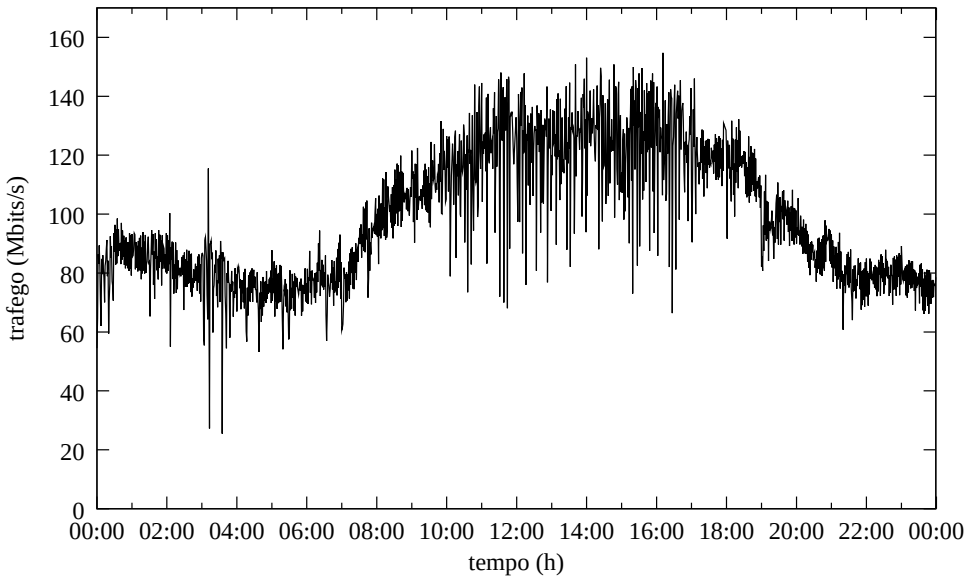


Figura 4.7: Amostras do tráfego de dados na Rede Rio, ao longo das 24 horas de um dia de semana típico

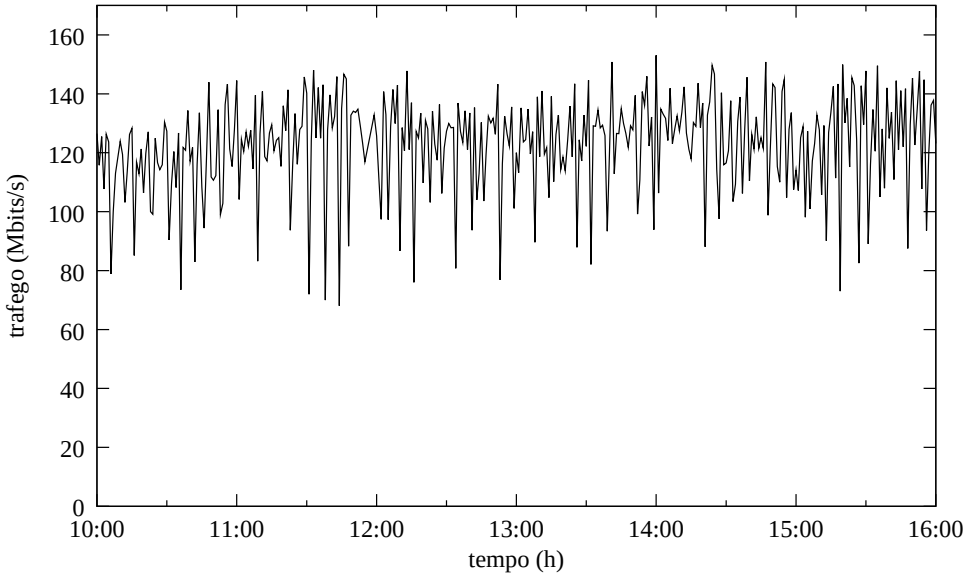
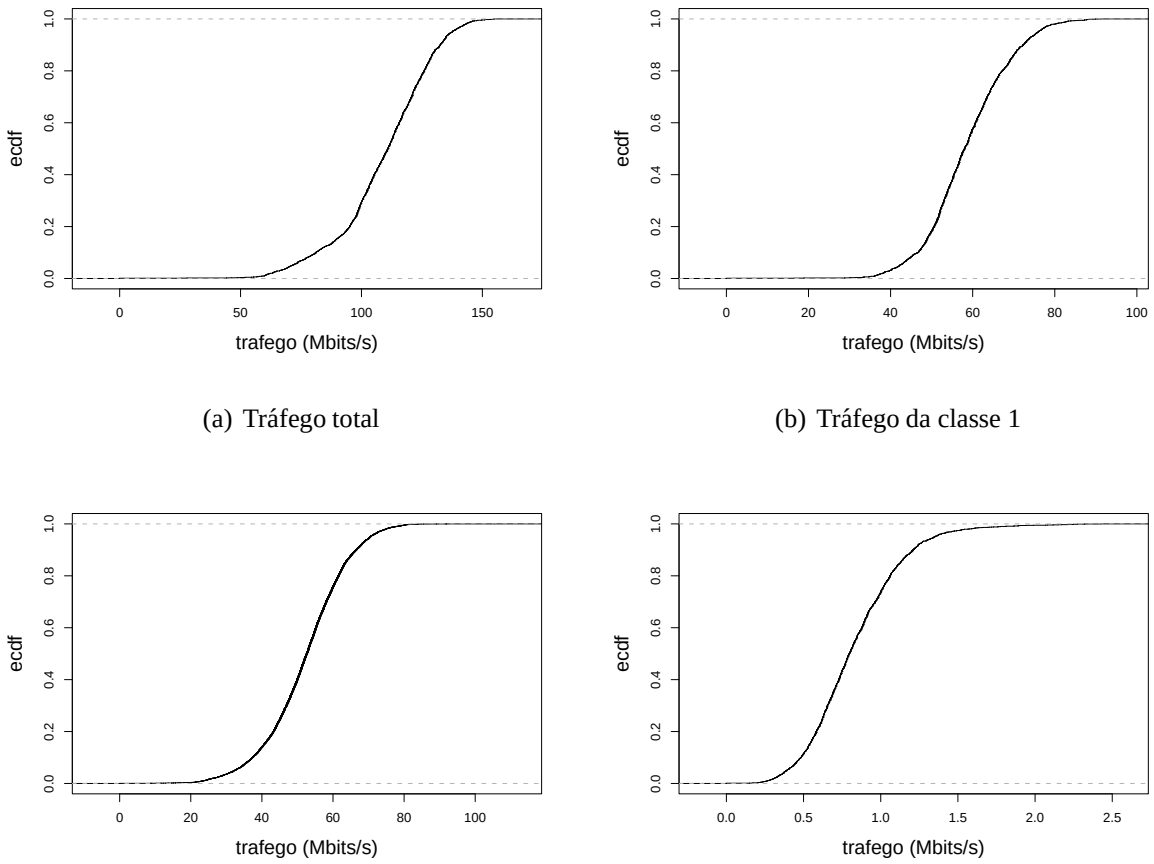


Figura 4.8: Tráfego de dados na Rede Rio, considerando apenas as amostras obtidas entre às 10:00h e às 16:00h (região de corte)

4.1.4 Análise estatística dos dados

Seguindo o procedimento definido pela metodologia, foram traçadas as curvas da ecdf relativas ao tráfego total e às três categorias de fluxo (Figura 4.9). Os gráficos foram plotados com o auxílio da ferramenta R [29].



(a) Tráfego total

(b) Tráfego da classe 1

(c) Tráfego da classe P2P

(d) Tráfego da classe 3

Figura 4.9: Distribuição cumulativa empírica (ecdf), por classes de aplicações, das amostras do tráfego obtidas no estudo de caso da Rede Rio

A capacidade do canal e a margem de erro ε foram calculadas para cada classe de tráfego e para cada probabilidade de saturação assumida. Para tanto, o número de grupos n_g foi de 11 para as classes 1 e 3, e 15, para a categoria P2P, de acordo com os dias considerados válidos na etapa de filtragem [1]. A Tabela 4.4 apresenta as capacidades calculadas, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, bem como as margens de erro (ε), considerando um nível de confiança de 95% [25].

Tabela 4.4: Capacidades calculadas para o enlace, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, no estudo de caso da Rede Rio

CAPACIDADE DO CANAL (MBITS/S)			
	PROBABILIDADE DE SATURAÇÃO		
CLASSES	10%	1%	0,1%
total	132,62 $\pm$ 0,89	145,54 $\pm$ 0,87	154,56 $\pm$ 3,88
classe 1	72,26 $\pm$ 0,84	82,90 $\pm$ 1,55	89,14 $\pm$ 2,17
classe P2P	66,46 $\pm$ 0,41	77,78 $\pm$ 0,91	84,41 $\pm$ 3,6
classe 3	1,21 $\pm$ 0,02	1,77 $\pm$ 0,08	2,27 $\pm$ 0,18

O valor proporcional da margem de erro (ε), obtida em cada caso, encontra-se na Tabela 4.5.

[1] de acordo com a seção 3.4.3 do capítulo sobre a metodologia

Tabela 4.5: Valor proporcional da margem de erro (ε), para as capacidades calculadas para cada classe de aplicações, no estudo de caso da Rede Rio

ε / C			
	PROBABILIDADE DE SATURAÇÃO		
CLASSES	10%	1%	0,1%
total	0,67%	0,59%	2,50%
classe 1	1,16%	1,86%	2,43%
classe P2P	0,6%	1,16%	4,26%
classe 3	1,65%	4,46%	7,92%

As Tabelas 4.4 e 4.5 apresentam um detalhe importante a ser observado e que fora mencionado na descrição da metodologia, sobre a proporção entre o erro da inferência estatística ε e a grandeza que se pretende estimar, no caso a demanda C no canal. Se o erro for proporcionalmente grande, superior, por exemplo, a 20% da capacidade estimada, o número n de amostras terá sido insuficiente. O gráfico da Figura 4.10 exibe os valores calculados desta razão para o caso do tráfego total.

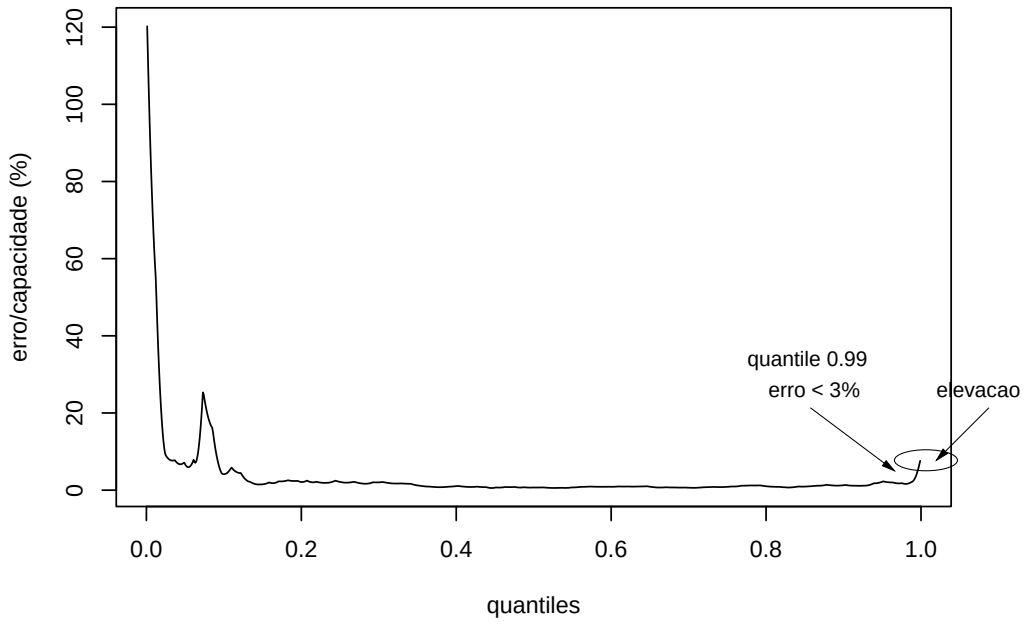


Figura 4.10: Proporção entre o erro da inferência estatística ε e a capacidade estimada C para o enlace de dados com a Embratel, no estudo de caso da Rede Rio

Observa-se que, até uma probabilidade de perda de 1% (*quantile* 0.99), o erro proporcional da análise estatística não passa de 5%. Ainda que, para probabilidades de saturação de 0,1% ou menores, o gráfico apresente uma discreta elevação (quantificada na Tabela 4.5), o número n de amostras coletadas foi considerado satisfatório.

4.1.5 Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego

A última etapa da metodologia representa a definição da capacidade necessária do canal (C) para cada classe de tráfego, de acordo com a máxima probabilidade de saturação

desejada. Como já fora observado, a simples adição das demandas por classe, considerando, por exemplo, saturação inferior a 0,1%, excede o valor calculado quando se tem em vista o tráfego como um todo. No primeiro caso, obtém-se uma demanda de 181,77 Mbits/s, enquanto para o tráfego total, o valor calculado seria de 158,44 Mbits/s.

Assim sendo, assumindo que os fluxos adaptativos e em tempo real são prioritários se comparados com o tráfego P2P, as classes 1 e 3 poderiam ter garantidas para si:

classe 1:	91,31 Mbits/s
classe 3:	2,45 Mbits/s
total prioritário:	93,76 Mbits/s

Quanto a capacidade total do enlace a ser contratado, considerando uma probabilidade de saturação de até 10%, o valor de 133,51 Mbits/s seria suficiente. Este valor, se comparado com os 158,44 Mbits/s necessários para garantir 0,1% de perda para o tráfego total, representa uma redução de aproximadamente 15%.

4.1.6 Validação

Para validar os números sugeridos pela metodologia, foram analisados os 8 dias seguintes aos 15 primeiros tratados na coleta inicial. A comparação entre os valores sugeridos e os resultados obtidos encontra-se na Tabela 4.6.

Os números da Tabela 4.6 indicam que as estimativas foram coerentes e flutuaram dentro da margem de erro considerada, à exceção dos fluxos em tempo real. Para as aplicações multimídia, apenas uma reserva de 3,02 Mbits/s garantiria uma perda não superior a 0,1%. O erro da previsão dos fluxos de voz e vídeo tem duas possíveis causas. A primeira delas está no fato de possuírem um valor médio bem inferior às demais categorias, o que pode indicar a necessidade de um intervalo de amostragem menor do que

Tabela 4.6: Comparação entre a previsão de saturação para as capacidades calculadas para cada classe de aplicações e os resultados obtidos num período subseqüente de coleta, no estudo de caso da Rede Rio

	capacidade sugerida Mbits/s	máx. probabilidade saturação prevista	saturação observada
total	133,51	10%	5,07%
classe 1	91,31	0,1%	0,0%
classe 3	2,45	0,1%	0,34%

os 5 minutos considerados. Além disso, a cauda da distribuição empírica da classe 3 é a mais longa de todas (Figura 4.9). Ainda que o erro proporcional do *quantile* correspondente a 0,1% tenha sido de apenas 7,9% (Tabela 4.5), possivelmente um número maior de amostras seja necessário.

4.1.7 Observações

Os seguintes comentários são válidos para complementar a análise apresentada:

- Os valores calculados são fracionários. Na prática, os enlaces são disponibilizados em valores inteiros, múltiplos de uma unidade básica que corresponde a menor capacidade de uma das portas de um roteador. Desta forma, os resultados precisam ser adaptados para um contexto real. Um cenário possível seria o da contratação de um link de 200 Mbits/s[2];

- Os erros encontrados nos cálculos da demanda, associados à perda não superior a 0,1% chegaram, no pior caso, a 7,9% (Tabela 4.5). Este percentual tende a diminuir, considerando um número maior de dias para coleta dos dados na rede;

[2] o enlace com a Embratel é de 155 Mbits/s

- Os fluxos da categoria P2P serão os maiores prejudicados com a implementação das reservas de banda para as classes 1 e 3. Entretanto, tais fluxos não são prioritários e a conseqüência das restrições impostas não passa de um tempo maior para o *download* de arquivos; e

- A distribuição de probabilidade que mais se aproximou da ecdf relativa ao tráfego total foi a *Weibull*, cuja expressão matemática, já com os parâmetros calculados [3], encontra-se definida na equação 4.2.

$$F(x) = 1 - exp\left[\left(\frac{x + 64,51}{181,90}\right)^{10,529}\right] \tag{4.2}$$

  Tal aderência a distribuições de cauda pesada (*heavy tail*), especialmente *Weibull*, também foi registrada em [30] [31] [24].

A distribuição empírica do tráfego total, no período considerado (22 dias), juntamente com a distribuição cumulativa de *Weibull* equivalente, são comparadas na Figura 4.11. A curva em vermelho representa os valores amostrados. A comparação foi realizada utilizando o software BestFit [32].

[3] Através do teste Kolmogorov-Smirnov

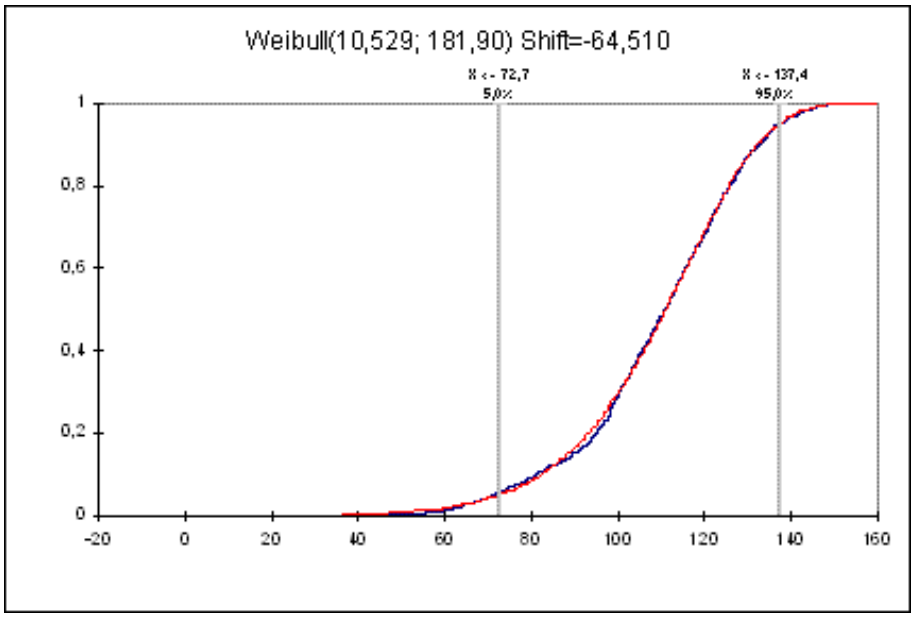


Figura 4.11: Comparação do tráfego real, observado no estudo de caso da Rede Rio, com a distribuição de *Weibull* equivalente

4.2 Auto-Similaridade

A título de complemento e para verificar a consistência dos dados, alguns parâmetros ou características do tráfego foram analisados e comparados com estudos recentes que também versam sobre o assunto. Sabe-se, por exemplo, que o tráfego na Internet apresenta um comportamento auto-similar, cuja principal característica é a repetição de um mesmo padrão (valor dos descritores de tráfego) independente da escala de tempo observada [33] [34] [9]. Portanto, para atestar a auto-similaridade do tráfego no *backbone* da RR, foram plotadas curvas em diferentes escalas, cada qual com um respectivo intervalo de tempo ($\triangle t$) utilizado para o cálculo da vazão. Os valores de vazão utilizados para o traçado desses gráficos, incorporou todo o tráfego que circula através do roteador do CBPF, incluindo as saídas para a Embratel, RNP e a entrada no *backbone* princi-

pal. A exemplo do que já havia sido observado nos trabalhos mencionados, o perfil do tráfego se manteve inalterado, exibindo variações bruscas, mesmo em escalas mais altas. O fenômeno pode ser observado na Figura 4.12.

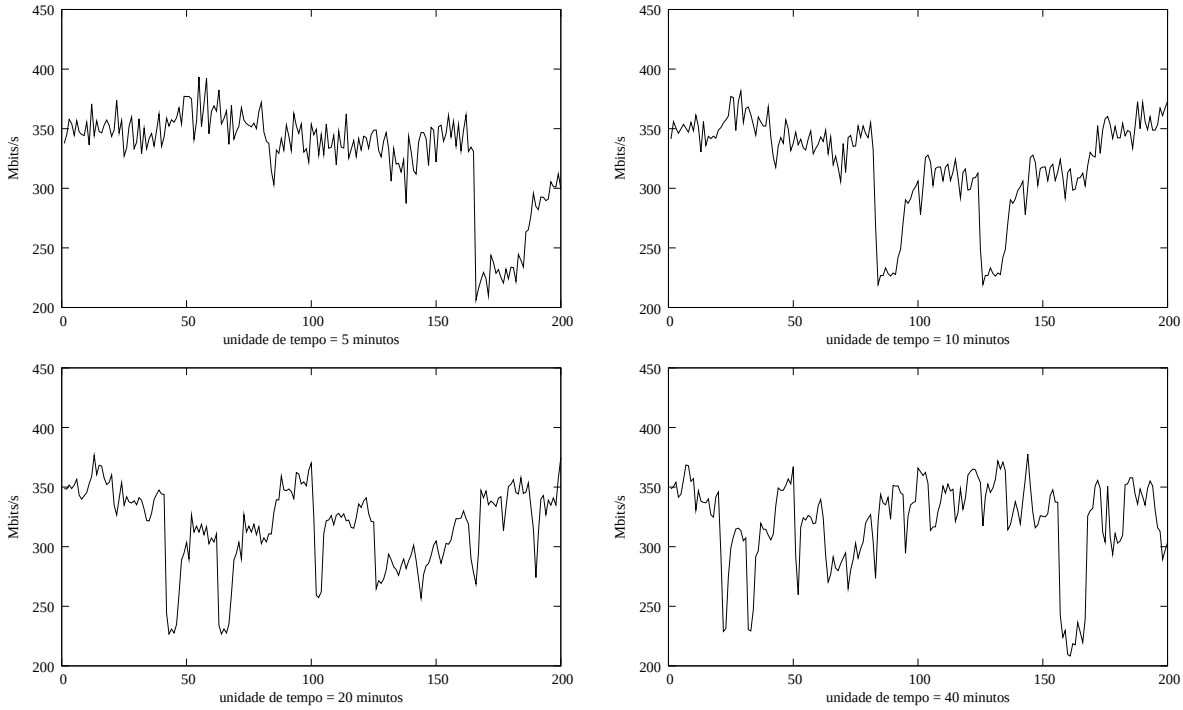


Figura 4.12: Curvas do tráfego em escalas incrementais, obtidas no estudo de caso da Rede Rio, sugerindo um comportamento auto-similar do tráfego

4.3 Marinha do Brasil

A Marinha do Brasil (MB) possui uma rede funcional de dados que interliga todas as suas organizações militares (OM). É através dessa rede que circulam e-mails, publicam-se instruções normativas e são disponibilizados serviços dos mais variados tipos. A rede também oferece mecanismos de autenticação para acesso a recursos específicos e possibilita a interligação dos militares e funcionários civis da MB com a Internet. Recentemente, a MB também passou a adotar a telefonia IP (VoIP). A Diretoria de Telecomunicações da Marinha (DTM) é a OM responsável pela manutenção da rede, através de contratos celebrados com as concessionárias de telecomunicações. Por tratar-se de uma rede com as dimensões de um país e com ramificações em alguns lugares de difícil acesso, como a Amazônia e o Pantanal, os contratos de aluguel firmados pela DTM estabelecem valores específicos para cada enlace. O esquema da interligação da rede de dados da MB está ilustrado na Figura 4.13.

A estrutura interna da Marinha apresentou-se como um ambiente apropriado para o emprego do método proposto neste trabalho, uma vez que dispõe de diversas conexões corporativas ponto-a-ponto. Para aplicação da metodologia, entretanto, seria necessário selecionar um dos enlaces disponíveis. A escolha recaiu sobre a conexão entre o 7º Distrito Naval (Brasília) e o Rio de Janeiro (1º DN). O motivo está no fato de ser este enlace considerado crítico, porque é através dele que a Marinha tem acesso a serviços importantes disponibilizados pelo governo federal.

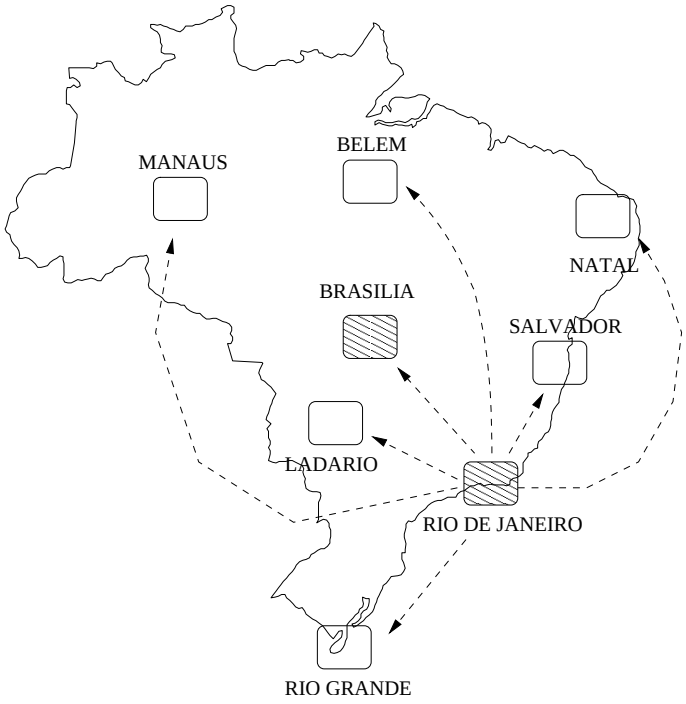


Figura 4.13: Topologia da rede de dados da Marinha do Brasil

4.3.1 Definição das classes de tráfego

Para definir as categorias de tráfego, na forma proposta pelo método, seria preciso listar todos os serviços prestados através da rede. Como são mais de quatrocentas OM, muitas delas disponibilizando o acesso a sistemas, a tarefa seria exaustiva e poderia tomar muito tempo. Para identificar mais rapidamente quais tipos de aplicações são realmente relevantes na ocupação do canal, optou-se por avaliar o impacto de cada uma delas na vazão total e, em seguida, organizá-las em grupos. Num primeiro momento, o critério para esta classificação foi a identificação das portas utilizadas e seu correspondente protocolo na camada de aplicação, se fosse o caso. Neste ponto, a exemplo do que já fora feito no estudo de caso da RR, lançou-se mão do site da *Internet Assigned Numbers Authority* [27]. O gráfico da Figura 4.14 apresenta a distribuição do tráfego entre os protocolos conhecidos e alguns específicos (proprietários) encontrados na rede da MB.

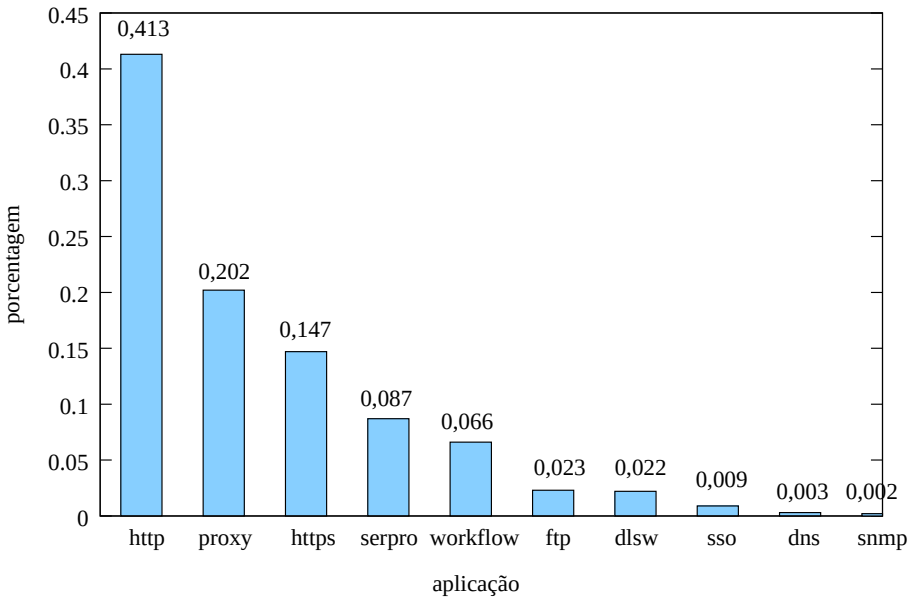


Figura 4.14: Distribuição do tráfego por aplicações, no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil, no final de 2005

Como o enlace entre Rio de Janeiro e Brasília ainda não oferece VoIP e não há, por enquanto, outros tipos de ferramentas multimídia na rede, a definição das categorias de aplicações não foi influenciada pelas características intrínsecas dos fluxos, somente por sua importância estratégica para a instituição. Ou seja, foi necessário apenas agrupar cada uma das aplicações exibidas no gráfico da Figura 4.14, considerando suas prioridades relativas. Assim, foi proposta a seguinte classificação:

- **Fluxos críticos**: representam as aplicações de importância vital para a manutenção das atividades da MB. São os sitemas corporativos associados ao trâmite de mensagens e documentos, movimentação financeira e execução do planejamento;
- **Fluxos da intranet**: acesso aos sites das OM de conteúdo meramente informativo. São os servidores web que disponibilizam notícias e permitem o download de arquivos e publicações; e

- **Fluxos da Internet**: como o restante do tráfego está basicamente concentrado no acesso aos proxies que permitem a conexão com a Internet, a última categoria incorpora estes fluxos e todos os demais.

Desta forma, foram criadas três classes de aplicações, cujos protocolos e as respectivas portas encontram-se listados na Tabela 4.7

Tabela 4.7: Distribuição das aplicações em classes, no estudo de caso da Marinha do Brasil

CLASSE	PROTOCOLOS/APLICAÇÕES	PORTAS
1 (fluxos críticos)	https, sistemas do serpro, workflow, dlsw e dns	443, 23000, 8999, 1352, 13132, 2065 e 53
2 (fluxos intranet)	http e ftp	80, 20 e 21
3 (fluxos internet)	proxies e demais fluxos	demais portas

Neste momento, surgiu um problema. Os dados utilizados para a construção do gráfico da Figura 4.14 foram obtidos em outubro e novembro de 2005. Ao observar o comportamento do tráfego no início de 2006, verificou-se que as proporções entre os fluxos mudaram de modo considerável. A vazão gerada pelas aplicações da intranet, antes responsável por 41,3% da demanda total, tornou-se quase deprezível, se comparada com a carga gerada pelos proxies (Internet). A nova proporção é ilustrada pela Figura 4.15.

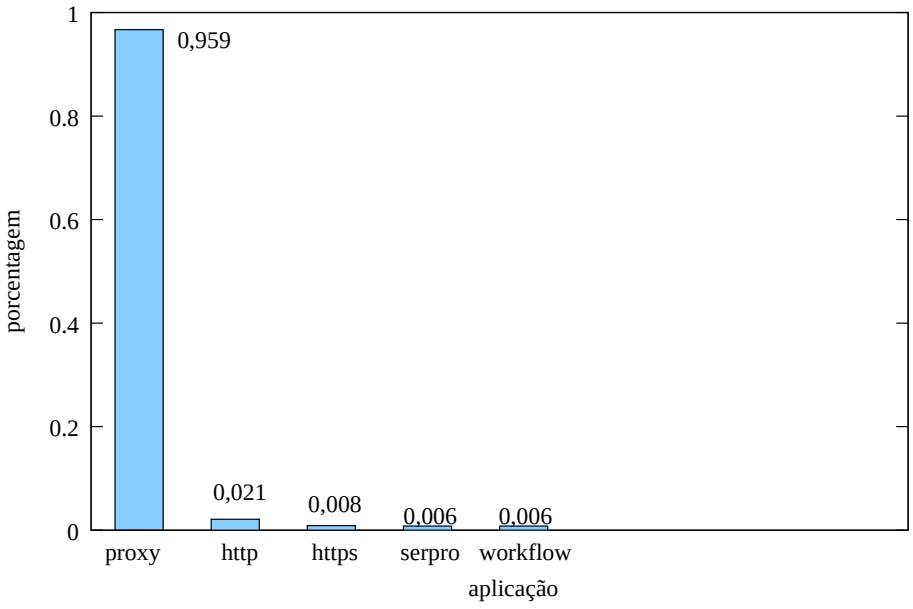


Figura 4.15: Distribuição do tráfego por aplicações, no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil, no início de 2006

Comparando-se os dados de 2005 e 2006, notou-se que a vazão média associada ao tráfego Internet manteve-se dentro de uma mesma ordem de grandeza, caindo de 543,11 Kbits/s para 149,89 Kbits/s, com redução proporcional ao número de usuários que se encontravam de férias no período considerado. Já os fluxos na intranet caíram sensivelmente, correspondendo a menos de 1% do valor que apresentavam no final do ano anterior. Ou seja, a redução deu-se não somente em termos relativos, mas em valores absolutos. Os gráficos que apresentam esta mudança foram inseridos na Seção relativa à análise do tráfego, na Figura 4.21.

Em razão desta súbita e relevante mudança, uma nova avaliação do perfil do tráfego teve de ser conduzida, com o intuito de identificar a razão pela qual os fluxos na intranet apresentavam-se tão elevados no final do ano. Para tanto, foi feito um levantamento do peso de cada número IP identificado nas amostras relativas aos fluxos http, obtidas em 2005. Tais números correspondem às máquinas que hospedam os servidores web. O

levantamento está registrado na Tabela 4.8[4].

Tabela 4.8: Peso de alguns servidores web específicos no tráfego HTTP total coletado da rede de dados da Marinha do Brasil

SERVIDOR WEB	PROPORÇÃO
IP 01	39,31%
IP 02	25,13%
IP 03	8,52%
IP 04	7,82%
IP 05	6,35%

Os dados da Tabela 4.8 mostram que os cinco servidores com maior peso no tráfego http (classe 2) foram responsáveis por mais de 87% da demanda gerada por esta categoria. Isso sugere que estes computadores hospedam serviços importantes e não apenas páginas comuns, meramente informativas. A suspeita foi confirmada pelos próprios responsáveis pela manutenção dos referidos servidores, que definiram tais serviços como críticos, de alta prioridade. Mais do que isso, estas aplicações desempenham uma papel fundamental no final do ano, como pôde ser observado. Alguns dos serviços indentificados são: o site de compras (licitações) do governo federal , o serviço de atualização cadastral de funcionários civis e a disponibilização de publicações de alto valor estratégico.

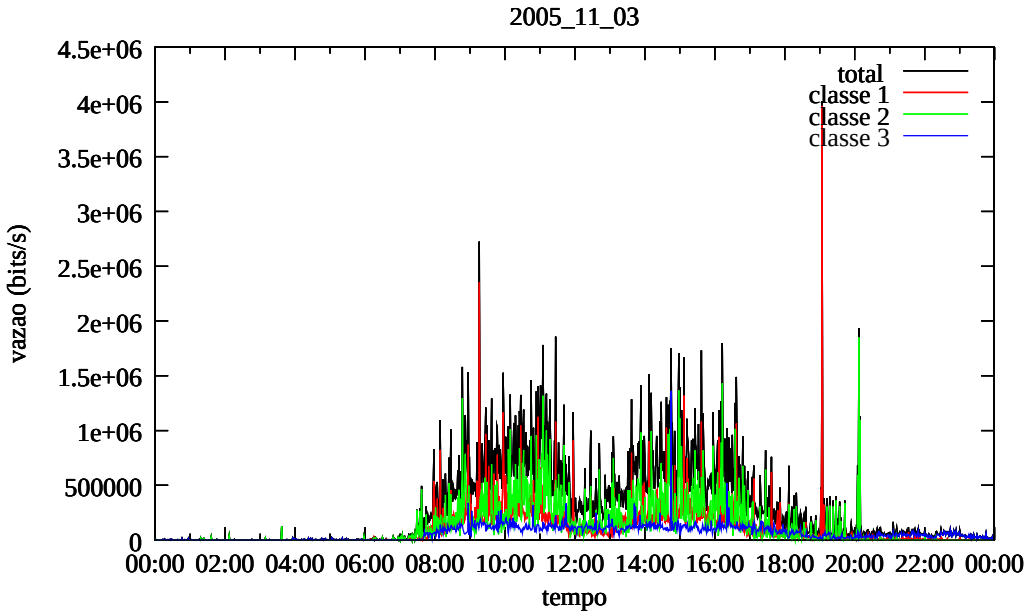
Uma vez identificado o problema, um novo critério de classificação precisou ser elaborado, considerando não apenas as portas, mas também o número IP das máquinas. Este novo processo deslocou as cinco aplicações hospedadas nos servidores identificados na Tabela 4.8 para a categoria de fluxos críticos. Estes aplicativos passaram a ser denominadas *http crítico*. O novo esquema de agrupamento dos fluxos encontra-se na Tabela 4.9

[4]Os número IP verdadeiros não foram registrados por questões de segurança

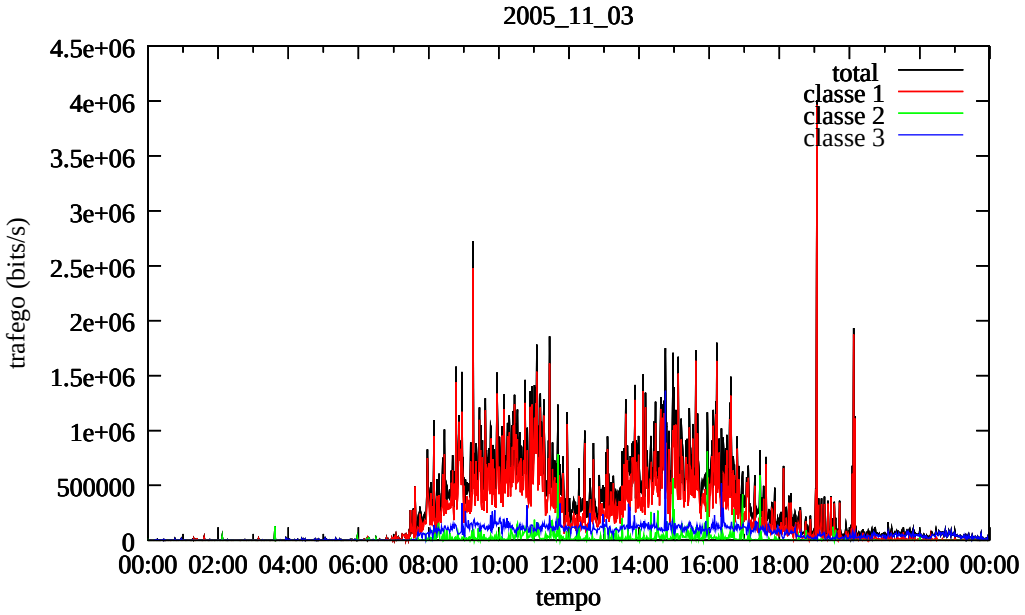
Tabela 4.9: Distribuição das aplicações em classes, no estudo de caso da Marinha do Brasil, após a alteração no esquema de classificação provocado pela mudança no comportamento do tráfego entre 2005 e 2006

CLASSE	PROTOCOLOS/APLICAÇÕES	PORTAS
1 (fluxos críticos)	https, sistemas do serpro, workflow, dlsw, dns e http crítico	443, 23000, 8999, 1352, 13132, 2065, 53 e 80
2 (fluxos intranet)	ftp e http (menos aplicações críticas)	20, 21 e 80
3 (fluxos internet)	proxies e demais fluxos	demais portas

A Figura 4.16 ilustra o efeito da modificação na forma de classificação do tráfego. Percebe-se que, com o novo critério, a classe dos serviços críticos passou a ser a principal responsável pelo volume de dados no enlace (no final de 2005).



(a) Primeiro critério



(b) Critério modificado

Figura 4.16: Efeito da modificação na forma de classificação do tráfego, considerando o término do ano de 2005 e o início de 2006, no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil

O problema da mudança do perfil do tráfego tornou-se uma excelente oportunidade para reavaliar a metodologia, isto porque, dentro de uma mesma classe de aplicações, identificadas apenas pelo número da porta, podem existir fluxos de características distintas, quer sob o ponto de vista da demanda gerada, quer pela importância para as regras de negócio da empresa. Além disso, a situação demonstrou o impacto do efeito de sazonalidade no comportamento da demanda na rede, o que será levado em conta na etapa de definição dos níveis de serviço.

4.3.2 Coleta de Dados

O enlace RJ x Brasília é implementado através de uma Linha Privada de Comunicação de Dados (LPCD) de 4 Mbits/s alugada junto à INTELIG. Para obtenção dos dados utilizados neste estudo, a exemplo do que havia sido feito na RR, utilizou-se o software NetFlow, da Cisco [21] em um roteador localizado no Rio de Janeiro. Um servidor instalado na DTM executava a coleta dos dados exportados pelo NetFlow, através de um outro aplicativo da Cisco, CNS NetFlow Collection Engine. Por fim, os arquivos gravados no servidor da DTM eram transferidos para uma terceira máquina, onde foram desenvolvidos vários scripts para filtragem dos dados, tratamento estatístico e geração de gráficos. Neste último computador, uma estação de trabalho, está instalado o software R para cálculos estatísticos [29]. O esquema de coleta é ilustrado na Figura 4.17

As informações sobre o tráfego no enlace foram obtidas entre os dias 20 de outubro de 2005 e 24 de fevereiro de 2006, em intervalos de um minuto. No total, foram armazenadas 86400 amostras do perfil da vazão no link. O gráfico da Figura 4.18 apresenta a curva do tráfego observado em três dias de coleta, já consideradas as três classes de aplicações definidas, num total de 4320 leituras de vazão.

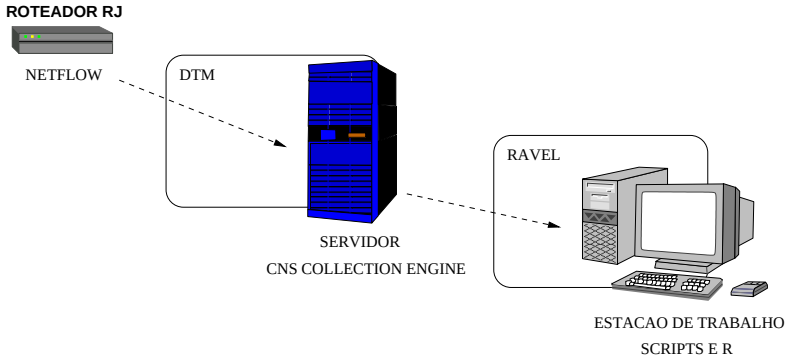


Figura 4.17: Esquema de coleta das informações sobre o tráfego no estudo de caso da rede de dados da Marinha do Brasil

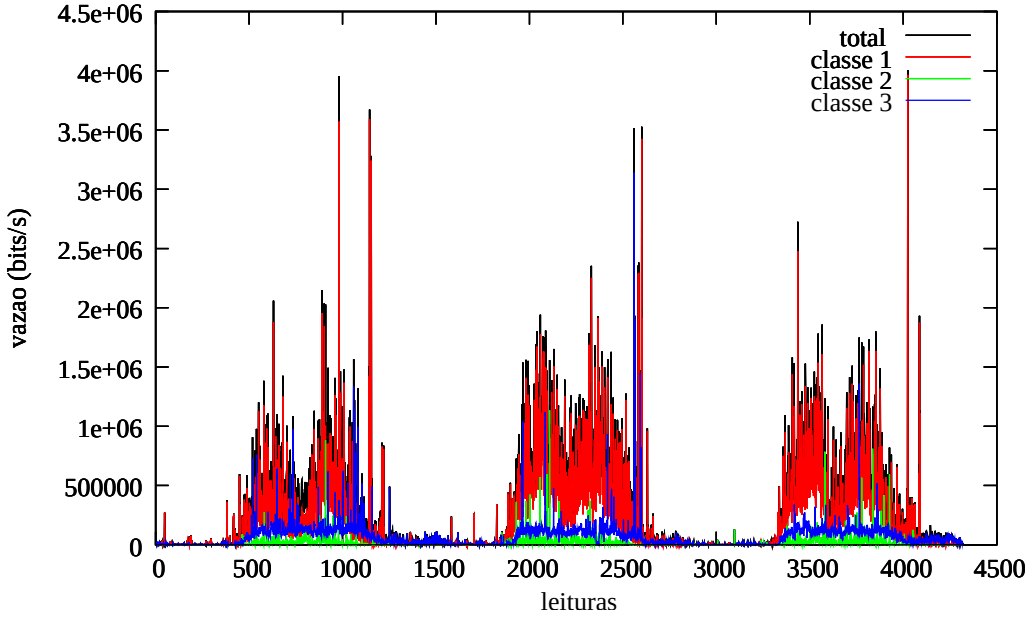
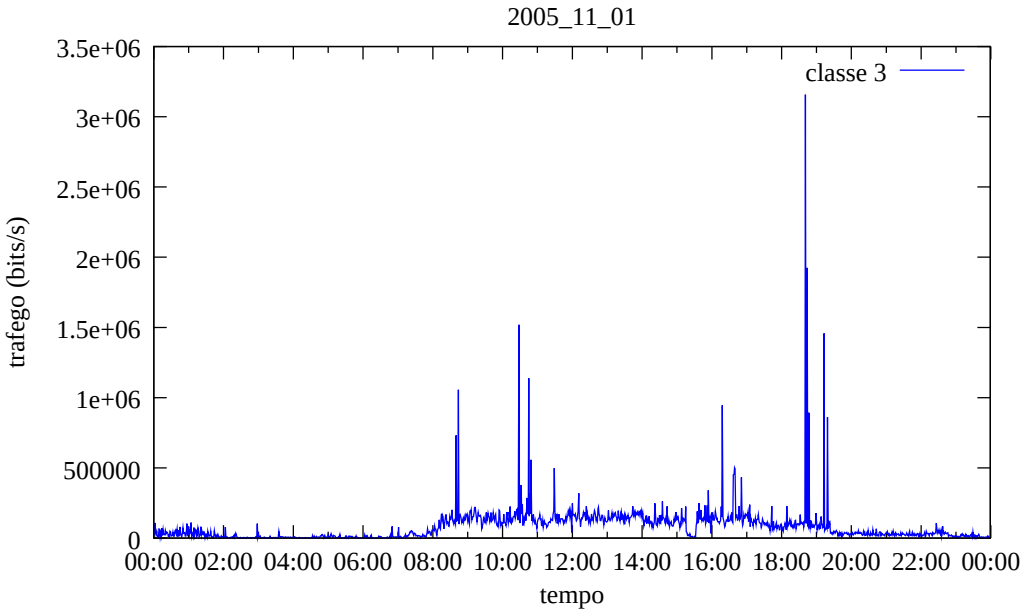


Figura 4.18: Tráfego no enlace entre o Rio de Janeiro e Brasília, na rede de dados da Marinha do Brasil, em dias de semana típicos e subseqüentes

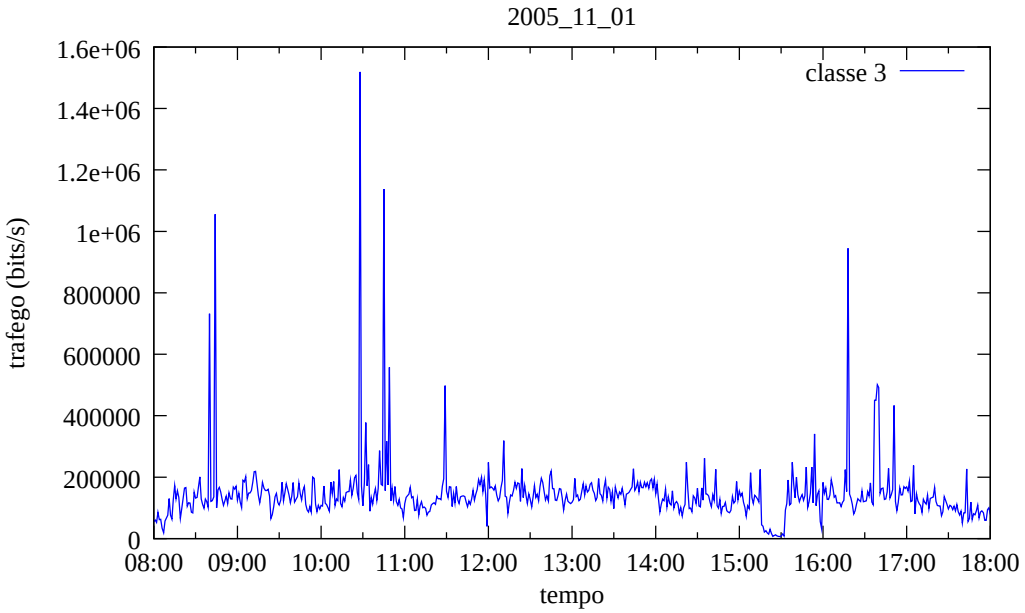
4.3.3 Filtragem dos dados coletados

Na filtragem dos dados obtidos, seguindo as recomendações definidas pelo método, foi necessário considerar o uso de uma ferramenta de bloqueio de páginas na web utilizada

pela MB. O software impede definitivamente o acesso a sites de conteúdo impróprio, como páginas pornográficas. Já no caso de sítios que não estão relacionados ao serviço, mas que não apresentam informações maliciosas ou inconvenientes, o bloqueio se dá apenas no horário do expediente (08:00 às 18:00h), no intuito de não saturar os enlaces com dados que não estejam diretamente relacionados com assuntos de trabalho. Esta restrição, entretanto, refere-se apenas ao tráfego gerado pelos acessos à Internet (proxies) e, portanto, pertencentes à classe 3. O esquema de corte para os fluxos Internet está ilustrado na Figura 4.19.



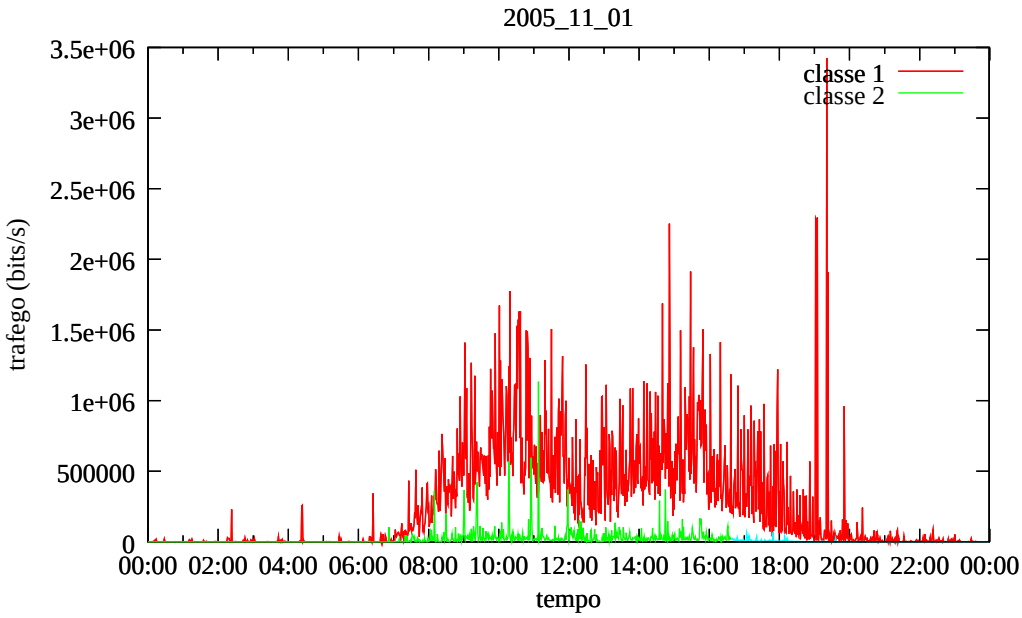
(a) Tráfego em 24 horas



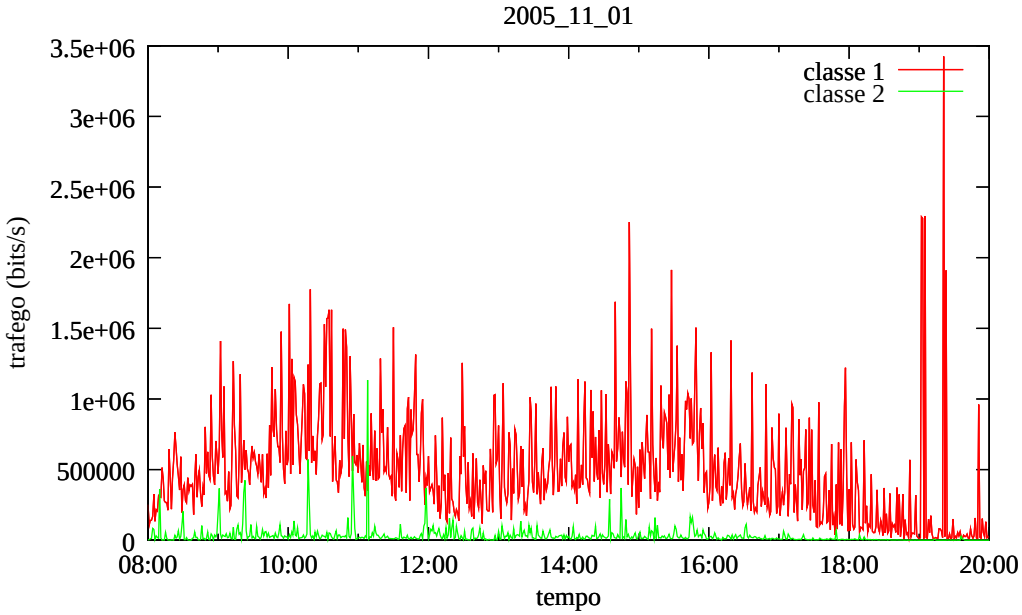
(b) Tráfego na região de corte

Figura 4.19: Efeito da filtragem do tráfego correspondente aos acessos à Internet (enquadrados na classe 3), na rede de dados da Marinha do Brasil

Quanto aos demais tipos de fluxo, a seleção também poderia estar relacionada à jornada de trabalho, uma vez que não há aplicações que consomem uma parte do enlace, de forma constante, 24 horas por dia. Contudo, a simples observação das curvas de vazão (Figura 4.16), sugere que, ao menos no período de final de ano, o tráfego relacionado ao serviço se prolonga até às 20:00h, aproximadamente. Este horário, portanto, foi adotado para as demais classes, como mostra a Figura 4.20. Os mesmos limites foram atribuídos à filtragem do tráfego total.



(a) Tráfego em 24 horas



(b) Tráfego na região de corte

Figura 4.20: Efeito da filtragem do tráfego correspondente aos fluxos críticos e da intranet (classes 1 e 2), na rede de dados da Marinha do Brasil

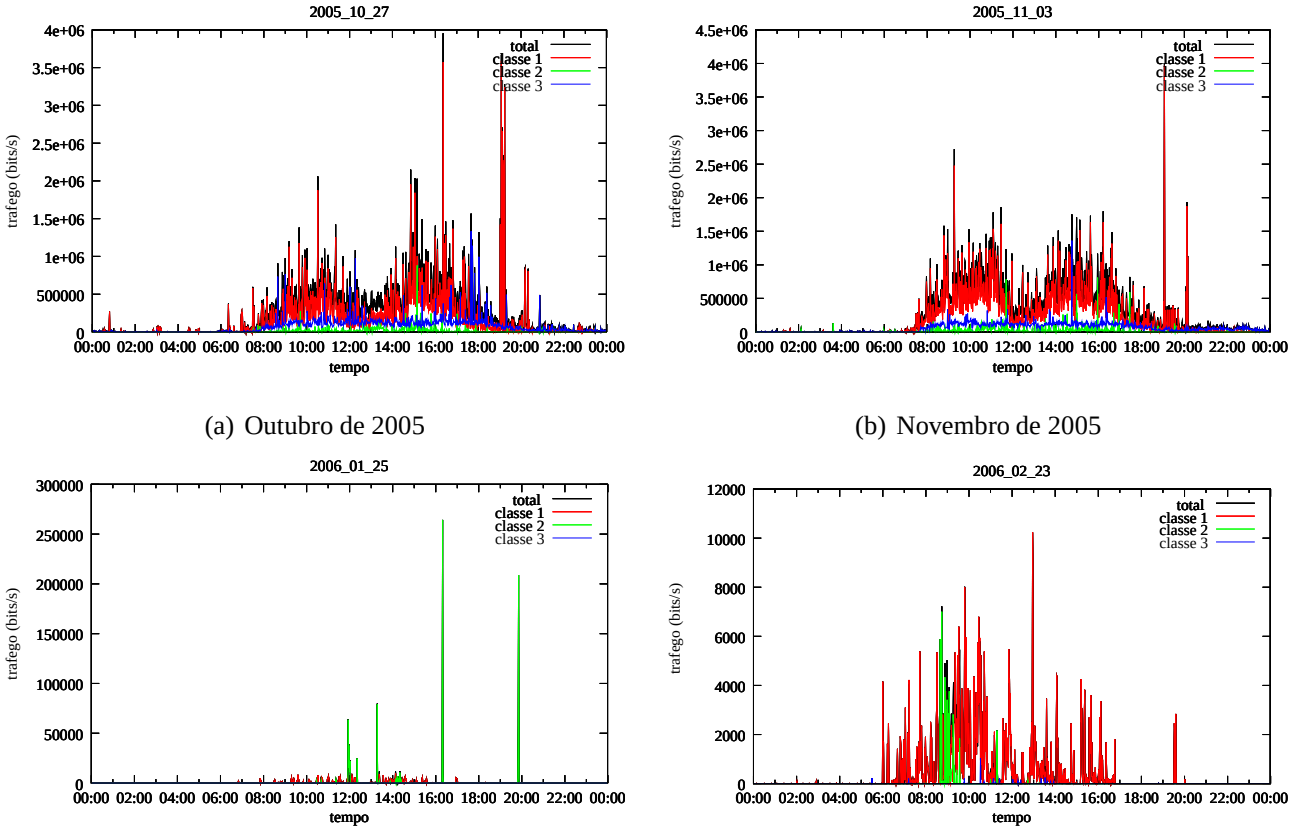
4.3.4 Análise estatística dos dados

A análise dos dados coletados da MB foi prejudicada por alguns fatores, abaixo listados:

- A presença de vírus e de dados corrompidos durante o processo de coleta exigiram um trabalho minucioso de filtragem de valores inconsistentes;
- O computador responsável pela coleta dos dados teve de ser desligado entre os dias 5 de novembro de 2005 e 5 de janeiro de 2006. O motivo foi uma obra realizada na sala dos servidores da Diretoria de Telecomunicações da Marinha (DTM) que exigiu que apenas algumas máquinas, responsáveis por serviços vitais, permanecessem em operação; e
- Como já foi mencionado, o perfil do tráfego sofreu uma mudança drástica do final de 2005, início de 2006. No fim do ano, (até o mês de novembro) o fluxo dos serviços associados às aplicações críticas atingiu valores máximos, em função da proximidade do término do exercício financeiro e da concentração de processos licitatórios. Os mesmos fluxos, nos meses de janeiro e fevereiro, foram praticamente desprezíveis. A comparação é apresentada na Figura 4.21.

As razões para uma mudança tão significativa nas características do tráfego no link RJ x Brasília são as seguintes:

- O início do ano é marcado pelo período de férias de aproximadamente 40% do pessoal, o que reduz consideravelmente a demanda no enlace;
- Normalmente nos meses de janeiro e fevereiro os recursos do orçamento ainda não estão disponíveis para fazer frente a grandes aquisições de produtos e serviços que exigiriam o acesso aos servidores do Serpro e outros serviços do governo federal; e



(a) Outubro de 2005

(b) Novembro de 2005

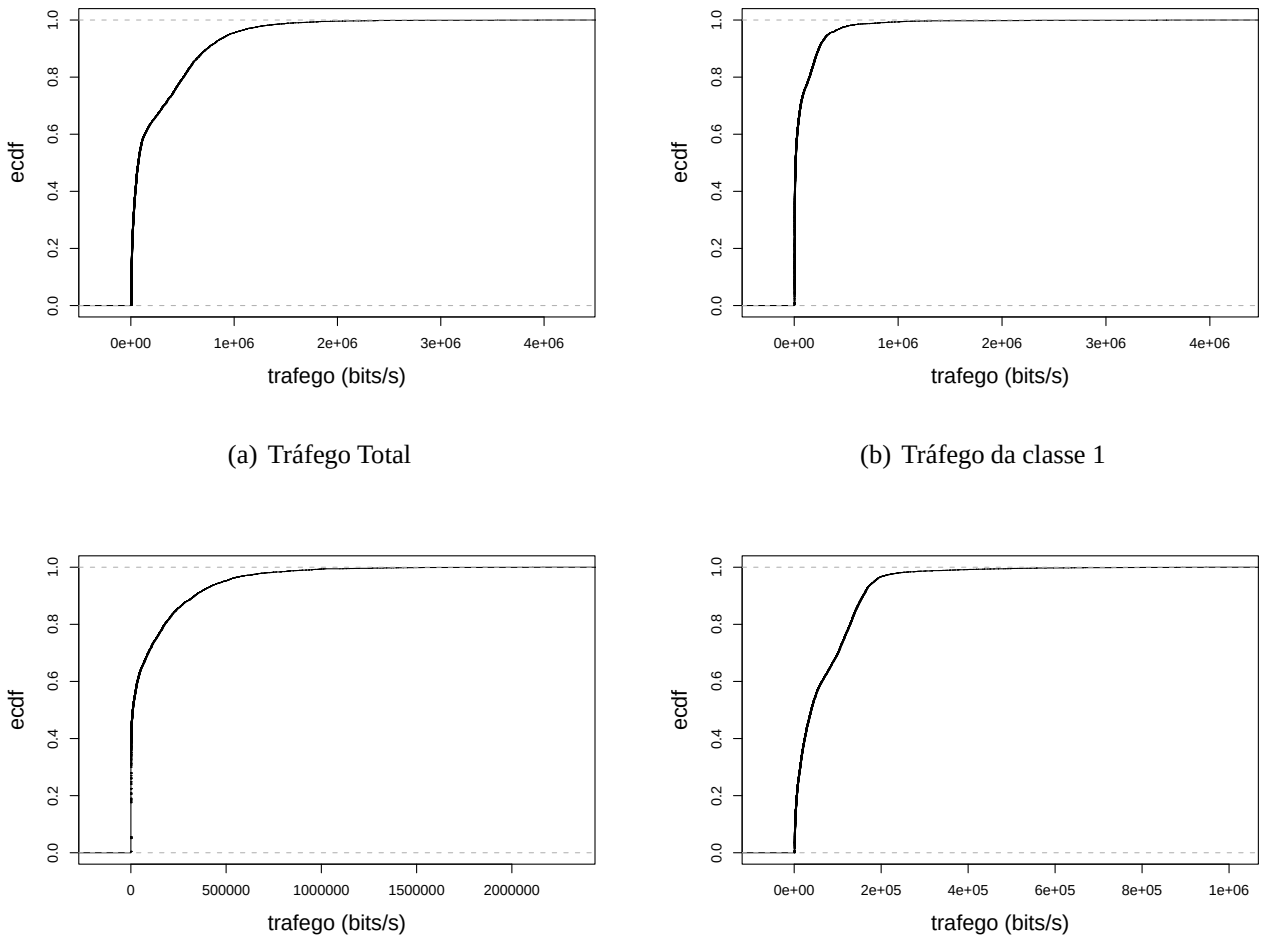
(c) Janeiro de 2006

(d) Fevereiro de 2006

Figura 4.21: Mudança no comportamento do tráfego na rede de dados da Marinha do Brasil entre o final do ano de 2005 e o início de 2006

- Em função de um problema na interligação da rede da MB com a Rede Metropolitana de Alta Velocidade de Brasília (REMAV), o acesso aos serviços do Serpro e demais órgãos do governo foi desviado para uma rota alternativa.

A mudança no comportamento do tráfego, do início para o fim do ano, foi certamente o pior dos problemas encontrados. O tráfego associado aos fluxos críticos e relevantes só apresentou uma demanda elevada, de fato, no final do ano. Como, no início, este problema não havia sido identificado, os fluxos foram reunidos, num total de 31 dias válidos de coleta e, traçadas as curvas de ecdf correspondentes (Figura 4.22).



(a) Tráfego Total

(b) Tráfego da classe 1

(c) Tráfego da classe 2

(d) Tráfego da classe 3

Figura 4.22: Distribuição cumulativa empírica (ecdf), por classes de aplicações, das amostras do tráfego obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil

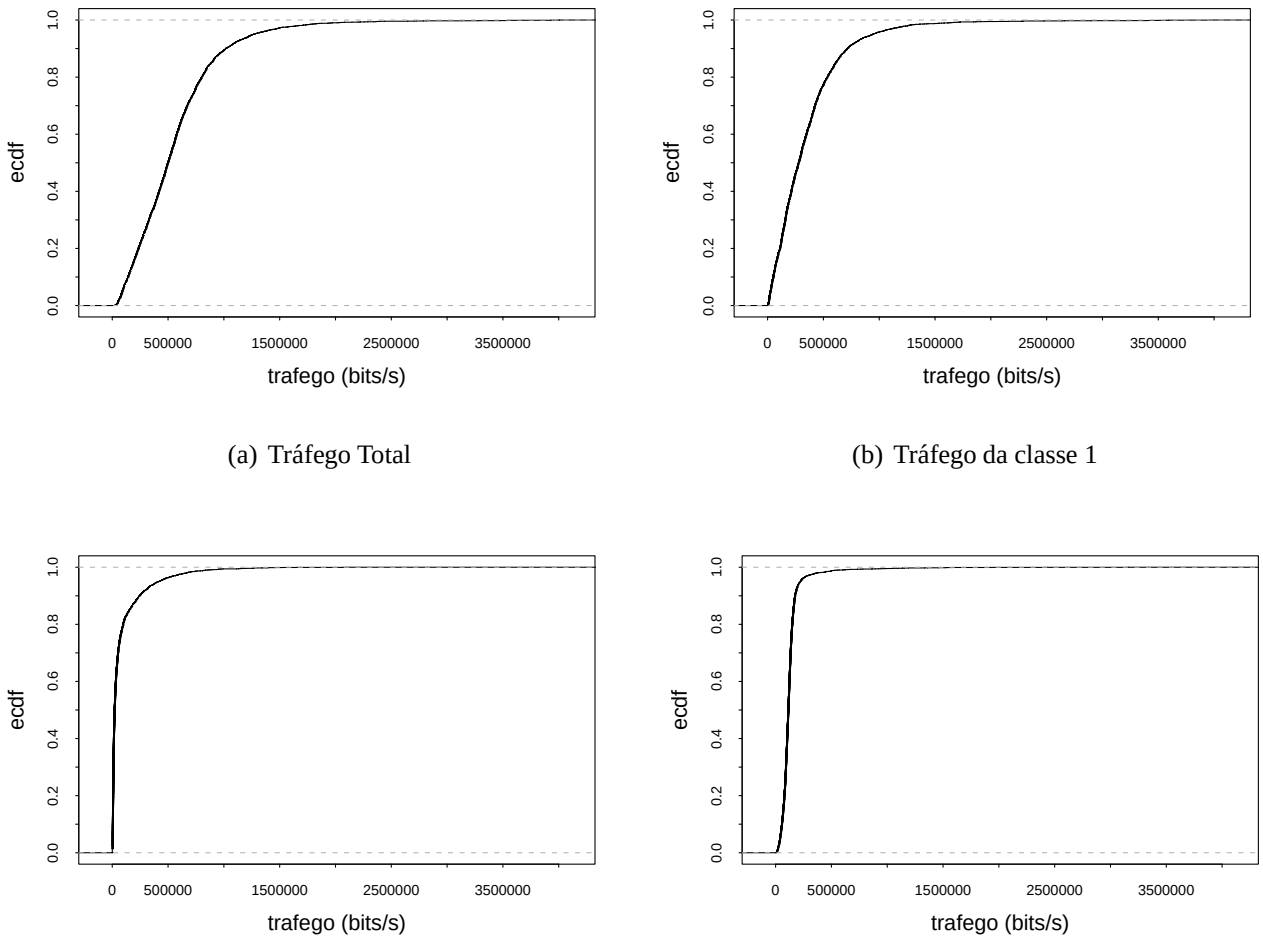
Da mesma forma, as correspondentes capacidades do canal, associadas a cada classe de aplicações também foram calculadas e encontram-se registradas na Tabela 4.10.

O problema foi inicialmente identificado por meio da observação do traçado irregular das curvas de ecdf que indicava mudanças bruscas do perfil do tráfego e mostrava que

Tabela 4.10: Capacidades calculadas para o enlace, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, no estudo de caso da Marinha do Brasil

CAPACIDADE DO CANAL (KBITS/S)			
	PROBABILIDADE DE SATURAÇÃO		
CLASSES	10%	1%	0,1%
total	910,07 ± 78,73	1640,21 ± 322,03	3035,28 ± 552,26
classe 1	602,17 ± 93,78	1480,29 ± 227,41	2823,73 ± 463,69
classe 2	155,41 ± 43,60	644,89 ± 238,25	1215,36 ± 575,56
classe 3	167,99 ± 29,87	421,73 ± 189,54	1336,84 ± 883,12

algo poderia estar errado. Além disso, o volume e a proporção entre os fluxos haviam mudado substancialmente (Figuras 4.14 e 4.15). Quando foram plotados os gráficos de vazão (Figura 4.23), confirmou-se o problema. Havia uma diferença significativa do comportamento do tráfego entre os dois anos. Não seria possível, portanto, agrupar num mesmo conjunto de amostras, dias em que a vazão apresentou um comportamento absolutamente distinto.



(a) Tráfego Total

(b) Tráfego da classe 1

(c) Tráfego da classe 2

(d) Tráfego da classe 3

Figura 4.23: Distribuição cumulativa empírica (ecdf), por classes de aplicações, das amostras do tráfego obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil, no final de 2005

A diferença entre o fim de 2005 e o início de 2006 mostrou a necessidade de uma avaliação inicial mais detalhada da consistência dos dados amostrados, antes de proceder a análise estatística dos mesmos.

Identificado o problema, optou-se por dividir a análise em duas partes:

1. Amostras obtidas nos meses de outubro e novembro de 2005; e

2. Amostras obtidas nos meses de janeiro e fevereiro de 2006.

Sobre os dados de 2005, como já foi mencionado, preciosos dias de coleta foram perdidos, em razão do problema do computador inoperante a partir do dia 6 de novembro. Este fato, como será visto mais adiante na seção referente à validação, representou a oportunidade de avaliar a eficiência do método, quando aplicado a um conjunto reduzido de amostras. O gráfico das ecdf das classes, bem como do tráfego total, referentes ao final do ano de 2005, encontram-se na Figura 4.23.

As curvas da Figura 4.23 refletem o comportamento da vazão medida em apenas 5 dias, entre 26 de outubro e 4 de novembro, já eliminando finais de semana e feriados. Desta forma, apenas cinco grupos foram criados para estimar os erros, como proposto na metodologia. Ainda assim, os resultados encontrados são consistentes e, em alguns casos, apresentam margens de erro próximas de 5%. As capacidades calculadas encontram-se na Tabela 4.11:

Tabela 4.11: Capacidades calculadas para o enlace, a partir dos *quantiles* correspondentes nas curvas de distribuição, no estudo de caso da Marinha do Brasil, considerando apenas as amostras obtidas em 2005

CAPACIDADE DO CANAL (KBITS/S)			
	PROBABILIDADE DE SATURAÇÃO		
CLASSES	10%	1%	0,1%
total	1016,99 ± 39,98	1971,52 ± 149,15	3672,05 ± 234,58
classe 1	714,58 ± 27,72	1615,66 ± 116,49	3572,65 ± 244,56
classe 2	243,59 ± 12,68	845,58 ± 130,14	1523,31 ± 416,15
classe 3	181,65 ± 8,29	569,29 ± 139,27	1519,19 ± 660,12

Com relação aos dias observados em 2006, a acentuada redução do tráfego trouxe alguns problemas. Um deles, talvez o mais crítico, foi o fato de que vários valores amostrados de vazão foram de 0 bits/s. Ou seja, em vários momentos o canal esteve absolutamente ocioso. Amostras desse tipo foram descartadas, para não corromper o perfil do tráfego que se pretendia estimar. Se não há tráfego, não há nada a amostrar. A eliminação dos dados correspondentes à vazão de 0 bits/s reduziu significativamente o número de amostras válidas. Assim sendo, e como os valores observados eram muito inferiores aos do final de 2005, chegou-se à conclusão que somente a análise do tráfego total seria conduzida para o 2º período considerado, uma vez que os valores obtidos em cada uma das classes não fariam sentido para o estabelecimento dos níveis de serviço em SLA. Foram muito baixos. Portanto, foi traçada apenas a curva da ecdf do tráfego total relativo aos dois primeiros meses de 2006 (Figura 4.24)

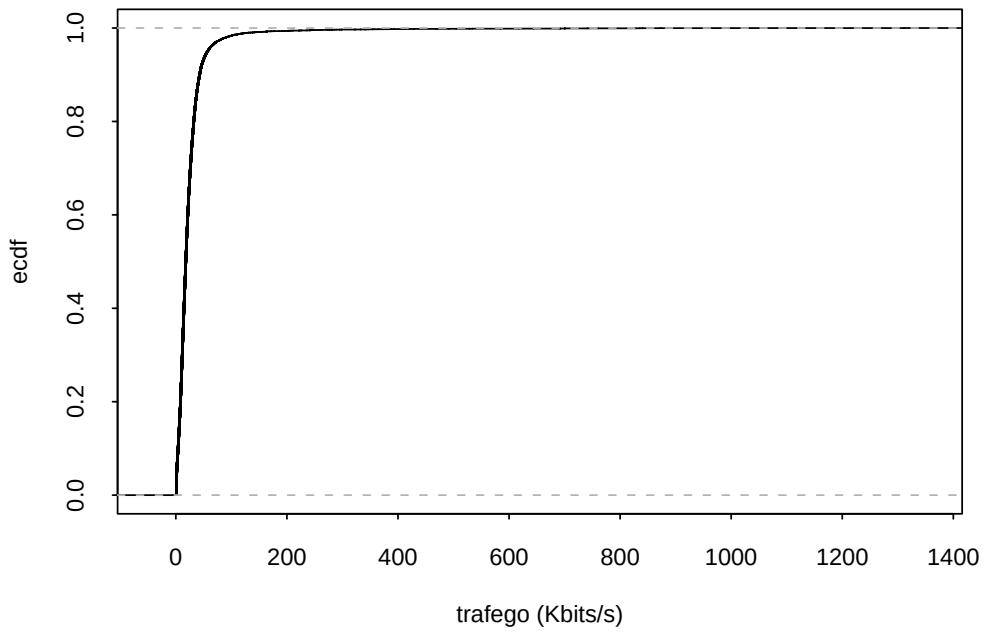


Figura 4.24: Distribuição cumulativa empírica (ecdf), das amostras do tráfego total, obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil, no início de 2006

A capacidade calculada para o canal, referente à segunda parte da análise e já considerando a mais rígida probabilidade de saturação (0,1%), foi de 699,84 Kbits/s e corresponde a apenas 19% do mesmo valor quando calculado para o término de 2005, confirmando a acentuada redução no tráfego. A margem de erro calculada foi de $\pm$ 130,73 Kbits/s, equivalente a 18,7% da capacidade estabelecida e, portanto, muito alta. Esta margem superdimensionada também é função do número reduzido de amostras válidas utilizadas nos cálculos.

4.3.5 Definição da largura de faixa a ser contratada e das garantias de reserva para cada categoria de tráfego

O estabelecimento da capacidade do canal e dos níveis de serviço para cada classe de aplicações levou em consideração o expressivo aumento da demanda observado no final do ano, se comparado com os valores observados em janeiro e fevereiro. É este perfil, dilatado, que servirá de base para o estabelecimento de SLA, pois é justamente nesta época do ano que a disponibilidade no enlace torna-se fundamental. Assim sendo, um cenário possível poderia considerar o percentual mais estreito de probabilidade de saturação (0,1%) para a classe 1, um intermediário para a classe 2 (1%) e o pior caso pra os demais fluxos (10%). As reservas (estáticas ou dinâmicas), então, poderiam ser definidas da seguinte forma:

classe 1: 3817,21 Kbits/s
classe 2: 975,72 Kbits/s
classe 3: 189,94 Kbits/s

O total, portanto, seria de 4982,87 Kbits/s, considerando uma soma pura e simples. Entretanto, como mencionado no capítulo que descreve a metodologia, o somatório das capacidades definidas para cada categoria de aplicações elimina o efeito de suavização da sobreposição dos fluxos. Isto pode ser comprovado se considerarmos os valores calculados para o tráfego total, em que um link de 3906,63 Kbits/s já seria capaz de garantir uma probabilidade de saturação inferior a 0,1%. Isto valeria, obviamente, para todas as classes. Ou seja, este não seria um procedimento correto.

De forma análoga ao que fora feito no estudo de caso da RR, uma das soluções possíveis, seria o aluguel de um canal de 4 Mbits/s, por exemplo, com um nível de serviço relacionado a probabilidade de saturação não superior a 0,1% . Concomitantemente, seria estabelecida uma política de QoS para garantir a reserva de 3817,21 Kbits/s para a classe

1. Além disso, a classe 2 teria preferência sobre a 3, sem restrições.

É importante observar que as classes 2 e 3 não ficariam restritas aos pouco menos de 300 Kbits/s restantes. A política de QoS garantiria apenas a prioridade da classe 1, em detrimento das demais, até o limite definido.

Como já foi mencionado no início deste tópico, os valores sugeridos, referem-se a um período que vai de meados de outubro e se prolonga até 20 de dezembro, aproximadamente. Entretanto, para o restante do ano, como mostra o gráfico da Figura 4.24, um canal com capacidade de 830,57 Kbits/s já seria suficiente para suprir, com 0,1% de probabilidade de saturação, a demanda no enlace. Para administrar esta diferença tão acentuada de valores, algumas soluções poderiam ser consideradas:

1. Um SLA estabelecendo que somente nos três últimos meses do ano o canal ofereceria uma capacidade de 4 Mbits/s. Até o mês de setembro, 1 Mbits/s seria suficiente. A solução poderia ser implementada usando um roteador com quatro portas de 1 Mbits/s, com somente uma porta ativa até o mês de setembro; e

2. Um contrato prevendo cobrança por demanda, até um limite de 4 Mbits/s.

As soluções propostas buscam conciliar a otimização de recursos por parte do provedor, com a eliminação do desperdício pelo lado do cliente (um canal ocioso boa parte do ano).

4.3.6 Validação

Em função dos problemas reportados, não foi possível validar os resultados obtidos, considerando um segundo conjunto de amostras. Em contrapartida, obteve-se uma estimativa do número de dias necessário para reduzir a margem de erro das capacidades

calculadas. Este resultado representa uma avaliação do método, uma vez que define o período mínimo de tempo exigido para extrair resultados consistentes. Se o número necessário de dias for muito grande, o método pode tornar-se inaceitável, por questões de custo ou disponibilidade do provedor.

Desta forma, obteve-se primeiramente o intervalo de tempo necessário para o cálculo da capacidade total do canal para o pior caso (probabilidade de saturação de 0,1%). O valor foi obtido utilizando-se a equação 3.7, definida no capítulo que descreve a metologia. Uma hipótese simplificadora foi considerada: assumir que o desvio padrão amostral (V_n), derivado das leituras realizadas, manter-se-á inalterado ou sofrerá pequena variação na medida que novas amostras forem incorporadas (aumentando o valor de n). Assim sendo, a equação 4.3 apresenta o cálculo do valor de n de tal modo que a margem de erro seja inferior a ε.

$$\sqrt{n} \geq \frac{z_{\alpha/2,n-1} * V_n}{\varepsilon} \text{ onde } z \backsim Student(\alpha/2, n-1) \tag{4.3}$$

Considerando ε como 183,60 Kbits/s, valor que corresponde a 5% da capacidade calculada para o canal com probabilidade de saturação inferior a 0,1% (Tabela 4.11), V_n equivalente a 199,931 Kbits/s, resultado obtido através das amostras consideradas e, ainda, $z_{0.025,4} = 2,776$ [5], temos:

$$n \geq 9,13 \text{ dias}$$

Ou seja, em um período de aproximadamente 10 dias, a aplicação do método poderia conduzir a resultados confiáveis para o estabelecimento de um futuro SLA, tomando-se como base somente a vazão total no enlace.

Para fazer uma melhor avaliação do período mínimo necessário de testes, um segundo

[5] como n era desconhecido, considerou-se $n = 5$, que seria o número inicial de amostras

valor foi calculado, neste caso para a classe 3. A escolha está no fato do intervalo de confiança obtido para esta faixa ter sido de 660,12 Kbits/s (Tabela 4.11), valor que corresponde a 43% da capacidade calculada e, portanto, muito alto. Utilizou-se a mesma equação 4.3, agora com um intervalo de confiança mais largo, de 10% (porque para esta categoria não é necessário um resultado tão preciso), equivalente a 151,91 Kbits/s. O desvio padrão amostral foi de 531,72 Kbits/s. Para este caso, obteve-se:

$$n \geq 94 \text{ dias}$$

Um número, portanto, dez vezes maior do que o calculado para o caso da vazão total e, ainda assim, com um intervalo de confiança menos rígido. A diferença, nos dois casos apresentados, foi demasiada.

Por isso, o cálculo foi refeito, considerando agora os fluxos críticos, novamente com um intervalo de confiança mais rigoroso, de 5% (178,63 Kbits/s), e com V_n calculado como sendo de 208,44 Kbits/s. O que resultou em:

$$n \geq 10,3 \text{ dias}$$

O número de dias, neste caso, está bem próximo do calculado para a vazão total.

A conclusão, desta forma, é a de que o período adequado para o cálculo das demandas pode variar muito, uma vez que as classes de aplicações tendem a apresentar um comportamento bastante diferenciado entre si. Por conseqüência, o intervalo de tempo estimado para a aplicação do método deve depender, em princípio, da categoria de fluxos considerada crítica e da qual se pretende obter a informação menos sujeita a erro. Se houver uma grande diferença em relação a uma outra classe de aplicações, pode-se buscar uma solução intermediária, desde que haja um conseno entre o cliente e o provedor.

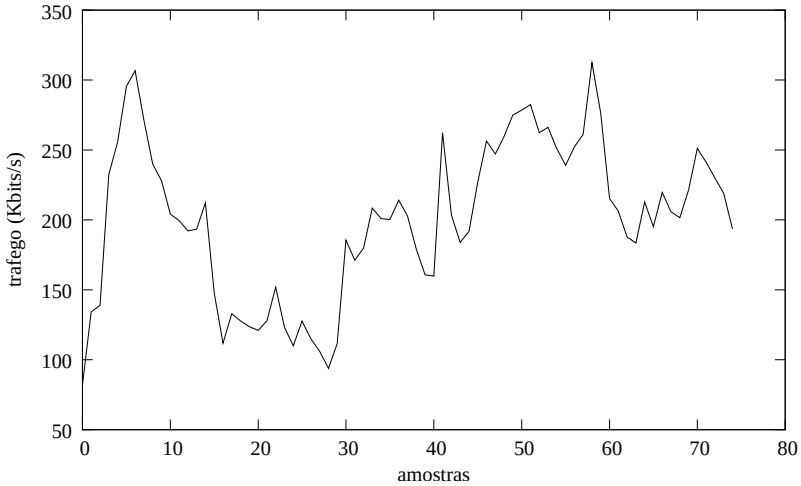
O resultado final, de aproximadamente 10 dias para obtenção de resultados suficien-

temente precisos, é condizente com um contrato que via de regra será firmado por um período de um ou mais anos, e valida a aplicação do método no estudo de caso apresentado.

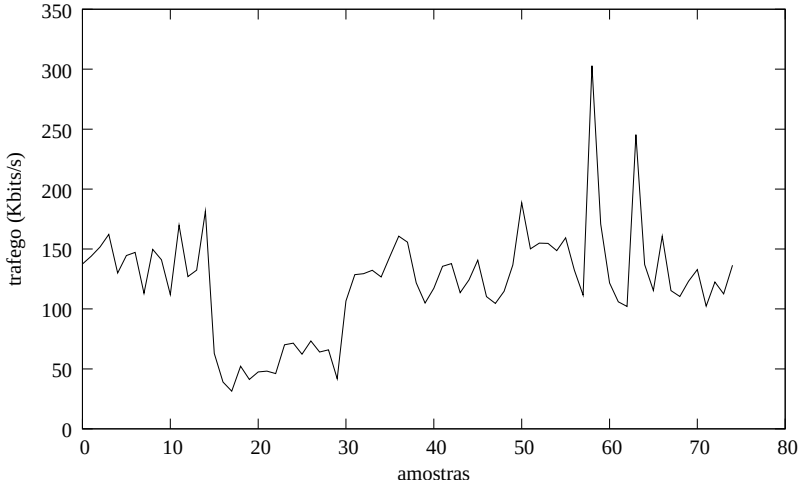
4.4 Auto-Similaridade

A exemplo do que foi feito para o caso da Rede Rio, também foram traçadas curvas do tráfego em escalas incrementais para avaliar o efeito de auto-similaridade do tráfego. Optou-se por plotar os gráficos referentes à categoria 3, onde se concentram os fluxos para acesso a Internet. Os resultados estão na Figura 4.25.

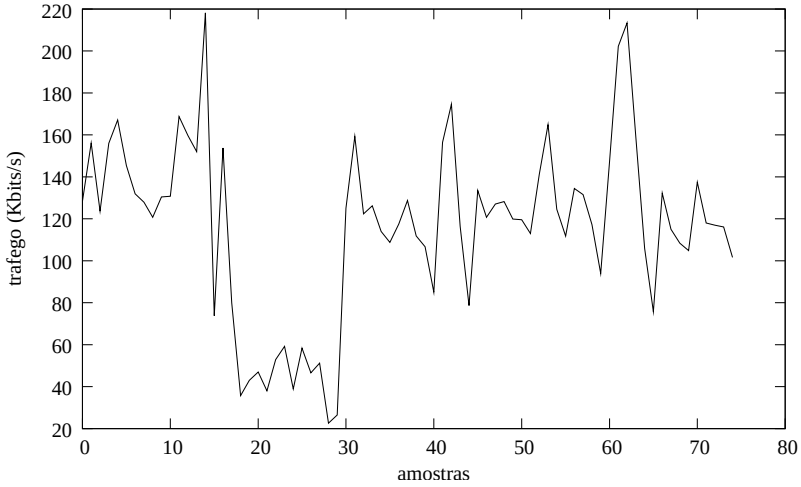
Novamente, os gráficos em escalas distintas fornecem indícios de que as características das curvas (métricas que as definem) não se alteram, ou sofrem pouca modificação. Ou seja, ao contrário do efeito de suavização observado em distribuições exponenciais, ou em tráfegos modelados como distribuições de Poisson, mesmo em escalas mais altas as variações permanecem bruscas, o que pode indicar uma tendência a auto-similaridade. Testes de auto-similaridade efetivos, entretanto, exigiriam um numero de amostras possivelmente maior, que permitisse variar mais acentuadamente a escala de tempo, indo de 2 minutos até dias ou meses, por exemplo [33].



(a) unidade de tempo = 2 minutos



(b) unidade de tempo = 8 minutos



(c) unidade de tempo = 32 minutos

Figura 4.25: Curvas do tráfego em escalas incrementais, obtidas no estudo de caso da Marinha do Brasil, sugerindo um comportamento auto-similar do tráfego

Capítulo 5

Conclusão

O PRINCIPAL objetivo deste estudo foi demonstrar a importância da adequada estimativa de necessidades em SLA celebrados para o aluguel de canais de transmissão de dados. O desenvolvimento de mecanismos sofisticados para garantir qualidade de serviço deve ser precedido da adequada caracterização do tráfego que vai circular pelo enlace. O cliente precisa conhecer o perfil dos fluxos gerados por suas aplicações e ter a oportunidade de priorizar os mais relevantes, segundo as regras de negócio da empresa. A abordagem proposta é simples, mas os resultados apresentados demonstram que pode vir a ser o ponto de partida para estudos mais avançados. A adoção do critério da probabilidade de saturação, juntamente com o traçado das curvas de distribuição cumulativa empírica e, ainda, a técnica de agrupamento das amostras para calcular a margem de erro mostraram-se adequados e produziram resultados confiáveis.

5.1 Dificuldades Encontradas

- A análise do tráfego em um *backbone* de grande porte difere do estudo conduzido em um enlace de menor capacidade. O número de fluxos simultâneos, nos dois casos, é muito diferente. Nos canais de grande capacidade, como no caso da Rede Rio, a ocorrência de eventos perturbadores, como vírus ou interrupções no serviço de alguma das redes participantes, não tem impacto significativo na demanda como um todo. Ou seja, as curvas de vazão não apresentam variações freqüentes daquele que seria considerado o comportamento padrão. Já no caso de circuitos menores, como o que foi estudado na rede da MB, as mudanças no perfil do tráfego são mais comuns. Como conseqüência, se uma alteração de comportamento for identificada, ela precisará ser investigada, para que se tenha certeza de que uma oscilação mais acentuada se deu por conta de um ou mais fluxos efetivos e não por fatores anormais, como vírus ou falhas no funcionamento da rede.

- Os efeitos da sazonalidade podem comprometer os resultados. Férias, feriados, períodos de carga de trabalho excepcional (término do exercício financeiro) dificultam a tarefa de caracterizar a vazão normalmente encontrada na rede;

- Características particulares de cada ambiente, tais como uso de políticas de acesso, proxies e analisadores de conteúdo também precisam ser considerados porque modificam as características do tráfego;

- O método elaborado neste estudo poderia realizar de forma automática boa parte das etapas propostas, uma vez que apenas a definição das classes de aplicações e a decisão final sobre a largura de faixa a ser contratada dependeriam de avaliações subjetivas do cliente. Entretanto, as particularidades observadas em cada ambiente podem vir a dificultar esta tarefa. Falhas na estrutura preparada para a coleta, vírus e mudanças no comportamento do tráfego são fatores que impõe a necessidade

constante da intervenção humana para acompanhar e corrigir processo.

5.2 Contribuições

- Constituir importante instrumento de consulta para a definição de SLA, uma vez que aborda vários aspectos (conceitos, tecnologias) ligados ao assunto, dando ênfase, ao contrário do que foi identificado pela pesquisa bibliográfica em trabalhos anteriores, à visão do cliente;
- Propor uma metodologia simples para que os clientes possam estabelecer, a *priori*, as suas reais necessidades: a capacidade total dos enlaces de dados entre suas unidades e os níveis de serviço a serem oferecidos para cada classe de aplicações;
- O trabalho tem como um de seus objetivos buscar a redução do desperdício nos contratos de locação de circuitos digitais dedicados, bem como em políticas de reserva de largura de faixa definidas sem planejamento; e
- Permitir à equipe de TI da empresa contratante conhecer o comportamento da vazão de dados na rede, o que pode ser útil para identificar tráfegos indesejáveis, definir a necessidade de mudanças em determinadas aplicações, descobrir por que alguns programas apresentam uma performance deficiente, entre outros.

5.3 Trabalhos Futuros

Os seguintes tópicos representam perspectivas de trabalhos futuros:

- Executar o método considerando o tráfego separadamente, em cada um dos dois sentidos do canal e avaliar o impacto da assimetria no tráfego;

- Identificar a tendência de crescimento do tráfego para o planejamento de contratos futuros [35], considerando que um aumento do volume médio do tráfeo não necessariamente corresponde a um aumento proporcional da capacidade necessária no canal [36];

- Criar um ambiente de testes (real ou por meio de simulações) para comparar as métricas de probabilidade de saturação e taxa média de perda, de acordo com as capacidades calculadas pelo método;

- Através das estatísticas levantadas, estabelecer a capacidade efetiva de cada tipo de fluxo [9][37], permitindo a inclusão de políticas de policiamento;

- Estabelecer um critério objetivo para a filtragem das amostras, no tocante ao período de tempo em que devam ser consideradas válidas. A metodologia proposta neste estudo sugere que este tipo de filtragem se dê de forma empírica, pela simples observação do comportamento das curvas de tráfego; e

- Estudar e classificar os problemas encontrados e que são empecilhos para a tentativa de automatizar (ainda que parcialmente) o método proposto. Os eventos anormais poderiam gerar alarmes, de acordo com a classificação proposta, e para cada alarme haveria um ou mais tratamentos cabíveis.

- Considerar a aplicação do método em dois ou mais canais de dados, por questões de redundância ou redução de custos, aplicando o modelo de alocação de capacidades definido por [36], em que são incluídos os custos em bits/seg de cada canal. Logicamente esta abordagem só faz sentido em se tratando de contratos celebrados com provedores distintos.

Referências Bibliográficas

[1] H. DERMIKAN, M. GOUL, and D. SOPER, “Service Level Agreement Negotiation: A Theory-based Exploratory Study as a Starting Point for Identifying Negotiation Support System Requirements.” *HICSS*, vol. 01, p. 37b, 2005.

[2] M. SCHWARTZ, *Broadband Integrated Networks*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1998.

[3] D. C. VERMA, “Service Level Agreements on IP Networks,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 9, pp. 1382–1388, setembro 2004.

[4] Z. M. YIN, F. C. YANG, and Y. Z. LIU, “Service Management Architecture and Information Model for Next Generation Network with Dynamic Service Level Agreement Management,” *12th IEEE International Conference on Networks*, vol. 1, pp. 437–441, novembro 2000.

[5] A. R. MODARRESSI and S. MOHAN, “Control and Management in Next-Generation Networks: Challenges and Opportunities,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, pp. 94–102, outubro 2000.

[6] C. FILFILS and J. EVANS, “Deploying Diffserv in Backbone Networks for Tight SLA Control,” *IEEE Internet Computing*, vol. 9, no. 1, pp. 58–65, 2005.

[7] A. SCHMIETENDORF, R. DUMKE, and D. REITZ, "Sla Management - Challenges in the Context of Web-Service-Based Infrastructures," in *ICWS '04: Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS'04)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004, p. 606.

[8] W. FAWAZ, B. DAHEB, O. AUDOUIN, and M. DU-PONT, "Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks," in *Network Control and Engineering for Qos, Security and Mobility II*. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 225–237.

[9] J. J. BÍRÓ, "Equivalent Capacity Estimators for Bufferless Fluid Flow Multiplexing," *GLOBECOM*, vol. 3, pp. 1406–1410, dezembro 2004.

[10] H. BOUILLET, D. MITRA, and K. G. RAMAKRISHNAN, "Structure and Management of Service Level Agreements in Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 4, maio 2002.

[11] D. MITRA, J. A. MORRISON, and K. G. RAMAKRISHNAN, "Virtual Private Networks: Joint Resource Allocation and Routing Design," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, pp. 480–490, 1999.

[12] W. STALLINGS, *ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM*, 3rd ed. Indianapolis, IN, USA: Prentice-Hall, 1995.

[13] S. JHA and M. HASSAN, *Engineering Internet QoS*, 1st ed. Artche House, 2002.

[14] ——, *Internet QoS Architectures and Mechanisms for Quality of Service*, 1st ed. Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

[15] H. J. LEE, M. S. KIM, , and J. W. HONG, "QoS Parameters to Network Performance Metrics Mapping for SLA Monitoring," *KNOM Review*, vol. 5, no. 2, dezembro 2002.

[16] L. MUSCARIELLO, “Markov Models of Internet Traffic and a New Hierarchical MMPP Model,” *Computer Communications*, no. 28, pp. 1835–1851, 2005.

[17] C. BARAKAT, P. THIRAN, and G. IANNCORE, “Modeling Internet Backbone Traffic at th Flow Level,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, no. 8, pp. 2111– 2124, agosto 2003.

[18] G. L. CHOUDHURY, “Squeezing the Most Out of ATM,” *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, vol. 44, no. 2, pp. 203–216, fevereiro 1996.

[19] A. DIWAN, J. KURI, and A. KUMAR, “Optimal per-Node Rate Allocation to Provide per-Flow End-to-End Delay Guarantees in a Network of Routers Supporting Guaranteed Service Class,” in *Proceeding of IEEE ICC*, 2002.

[20] V. D. WAL, K. MANDJES, and M. BASTIAANSEN, “Delay Performance Analysis of the New Internet Services with Guaranteed QoS,” in *Proceedings of the IEEE*, 1997.

[21] NETFLOW, “NetFlow Services and Applications,” Cisco White Paper, http://www.cisco.com/warp/public/cc/cisco/mkt/ios/netflow/tech/napps_wp.pdf, visitado pela última vez em dezembro de 2006.

[22] C. R. TÖPKE, “Uma Metodologia para Caracterização de Tráfego e Medidas de Desempenho em Backbones IP,” Master’s thesis, COPPE/UFRJ, 2001.

[23] “REDE RIO,” http://www.rederio.br, visitado pela última vez em dezembro de 2006.

[24] J. CAO, W. S. CLEVELAND, D. LIN, and D. X. SUN, “On the Nonstationarity of of Internet Traffic,” in *SIGMETRICS ’01: Proceedings of the 2001 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*. New York, NY, USA: ACM Press, 2001, pp. 102–112.

[25] A. LEON-GARCIA, *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*, 2nd ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1994.

[26] F. A. TOBAGI, "Multiaccess Protocolos in Packet Communications Systems," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 4, abril 1980, pp. 468–488.

[27] IANA, "Internet Assigned Numbers Authority," http://www.iana.org/assignments/port-numbers, visitado pela última vez em dezembro de 2006.

[28] IPTRAF, "Portal de Análise de Tráfego do Laboratório Ravel," http://iptraf.ravel.ufrj.br, visitado pela última vez em dezembro de 2006.

[29] R. D. C. TEAM, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2005, ISBN 3-900051-07-0. [Online]. Available: http://www.R-project.org, visitado pela última vez em dezembro de 2006

[30] A. FELDMANN, "Characteristics of TCP Connection Arrivals," Technical report, 1998, AT&T Labs Research. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/feldmann98characteristics.html, visitado pela última vez em dezembro de 2006.

[31] ——, "Impact of non-Poisson Arrival Sequences for Call Admision Algorithms with and Without Delay," in *Proceedings IEEE GLOBECOM*, novembro 1996, pp. 617–622.

[32] PALISADE, "BestFit," http://www.palisade.com/bestfit/default.asp, visitado pela última vez em dezembro de 2006.

[33] W. E. LELAND, M. S. TAQQU, W. WILLINGER, and D. V. WILSON, "On the Self-Similarity Nature of Ethernet Traffic," in *IEEE/ATM Transactions on Networking*, 1994.

[34] V. PAXTON and S. FLOYD, "Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 3, no. 3, junho 1995, pp. 226–244.

[35] E. de SOUZA e ROSA MARIA LEÃO, "Um Método para Projeção de Tráfego Usando Wavelets e Fecho Convexo," *XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, setembro 2004.

[36] L. KLEINROCK, *Queueing Systems, Volume 2, Computer Applications*. John Wiley and Sons, 1976.

[37] R. GUÉRIN, "Equivalent Capacity and Its Applications to Bandwidth Allocation in High-Speed Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 9, no. 7, pp. 968–981, setembro 1991.