



**Leonardo Nahmias Scheiner**

**Análise de Desempenho do Protocolo SIP na Sinalização  
de Chamadas de Voz sobre IP**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Rio de Janeiro, agosto de 2005



**Leonardo Nahmias Scheiner**

## **Análise de Desempenho do Protocolo SIP na Sinalização de Chamadas de Voz sobre IP**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Marco Antonio Grivet Mattoso Maia**

Orientador  
PUC-Rio

**Prof. Ewerton Longoni Madruga**

Universidade Estácio de Sá

**Prof. Marcelo Roberto Baptista Pereira Luis Jimenez**

CETUC – PUC-Rio

**Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza**

CETUC – PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Leonardo Nahmias Scheiner**

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações na PUC-Rio em julho de 2003. Em agosto de 2003, iniciou seu mestrado na mesma instituição na área de Sistemas de Comunicações.

### **Ficha Catalográfica**

Scheiner, Leonardo Nahmias

Análise de desempenho do protocolo SIP na sinalização de chamadas de voz sobre IP / Leonardo Nahmias Scheiner; orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso Maia. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

135 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Incluí referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. VoIP. 3. SIP. 4. Post-dial delay (PDD). 5. Post-pickup delay (PPD). 6. Call release delay (CRD). 7. Desempenho de sinalização. I. Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD:621.3

Dedico este trabalho ao meu avô Francisco (em memória).

## **Agradecimentos**

Ao Professor Grivet, por toda a orientação, incentivo e apoio.

À CAPES pelo fornecimento de bolsa de fomento, sem a qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao Ricardo Lobo, amigo que incentivou e contribuiu com diversas sugestões.

Ao Totonho e Islan, pelo apoio e incentivo durante todo período de desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Sergio e Alice, pelo investimento, atenção, carinho e contribuição para meu crescimento pessoal.

À todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

## Resumo

Scheiner, Leonardo Nahmias. **Análise de Desempenho do Protocolo SIP na Sinalização de Chamadas de Voz sobre IP**. Rio de Janeiro, 2005. 135p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Impulsionada pelo grande crescimento da Internet, a telefonia IP conquistou a atenção do mercado e dos grandes fabricantes com promessas de redução de custo na operação, gerência, provisionamento, manutenção e tarifação. Diversos protocolos foram desenvolvidos de modo a prover VoIP como o H.323, MGCP, Megaco e SIP. O SIP tem se destacado por ser um protocolo baseado em texto, extensível, independente do protocolo de transporte, e portanto mais flexível e simples que seu concorrente direto, o H.323. O SIP (Session Initiation Protocol) é um protocolo de sinalização utilizado para iniciar, modificar e terminar sessões, podendo ser usado para chamadas de voz sobre IP (VoIP) ou para troca de mensagens instantâneas, entre outras aplicações. Ele foi desenvolvido originalmente em 1996 e foi padronizado pela IETF em 1999. Neste trabalho, o desempenho do protocolo SIP para estabelecimento de chamadas VoIP será avaliado, já que há uma grande quantidade de trabalhos focando a qualidade da voz e poucos têm avaliado a sinalização [3]. Serão montados ambientes experimentais a fim de variar parâmetros como retardo, perda de pacotes, jitter, largura de banda e protocolo de transporte, permitindo verificar como esses parâmetros afetam isoladamente os tempos de post-dial delay, post-pickup delay e call release delay.

## Palavras-chave

VoIP; SIP; Post-dial delay (PDD); Post-pickup delay (PPD); Call release delay (CRD); Desempenho de sinalização

## Abstract

Scheiner, Leonardo Nahmias. **Perfomance Analisys of SIP Protocol on the Signaling of Voice over IP Calls**. Rio de Janeiro, 2005. 135p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Pushed by the growth of the Internet, the IP Telephony conquered a great attention of the market and big suppliers, with promises of cost reductions on operation, management, provisioning, maintenance and billing. Different protocols were developed for providing VoIP such as H.323, MGCP, Megaco and SIP. SIP has been highlighted for being a text based protocol, extensible, independent of the transport protocol, therefore more flexible and simpler than your competitor, the H.323. SIP (Session Initiation Protocol) is a signaling protocol used for establish, modify and terminate sessions. It can be used for voice calls over IP (VoIP) or to exchange instant messaging, among other applications. It has been developed originally in 1996 and has been standardized by IETF in 1999. In this work, the performance of SIP protocol for establishing VoIP calls will be estimated, since there are a lot of papers focalizing in the voice quality and few treated the signaling [3]. Experimental environments will be used for varying parameters like delay, packet loss, jitter, bandwidth and transport protocol, allowing to verify how there parameters affect separately the post-dial delay, post-pickup delay and call release delay.

## Keywords

VoIP; SIP; Post-dial delay (PDD); Post-pickup delay (PPD); Call release delay (CRD); Signaling Performance

# Sumário

1 Introdução	15
1.1. Contexto Atual	15
1.2. Motivação	16
1.3. Trabalhos Anteriores	18
1.4. Objetivo	21
1.5. Principais Contribuições	21
1.6. Estrutura da Dissertação	22
2 O Protocolo SIP	23
2.1. Introdução Histórica	23
2.2. Aspectos Gerais	24
2.2.1. O Estabelecimento de uma Chamada	26
2.3. Entidades SIP	27
2.3.1. User Agents (UAs)	28
2.3.2. Servidor Proxy	28
2.3.2.1. Stateless Proxy	29
2.3.2.2. Stateful Proxy	30
2.3.2.2.1. Comportamento do Stateful Proxy	32
2.3.2.2.2. Forking	35
2.3.2.2.3. Autenticação	37
2.3.2.2.4. Outbound Proxy	38
2.3.3. Servidor Registrar	38
2.3.4. Back-To-Back User Agent (B2BUA)	39
2.3.5. Servidor Redirect	41
2.4. Mensagens SIP	44
2.4.1. Estrutura da mensagem SIP	44
2.4.2. SIP URI (Uniform Resource Indicator)	46
2.4.3. Requisições SIP	47
2.4.3.1. INVITE	47
2.4.3.2. REGISTER	49
2.4.3.3. BYE	50
2.4.3.4. ACK	50



2.4.3.5. CANCEL	52
2.4.3.6. OPTIONS	54
2.4.4. Respostas SIP	55
2.4.5. Campos de Cabeçalho	57
2.4.6. Transações	58
2.4.7. Diálogos	60
2.4.8. Record-Routing	62
2.4.9. Confiabilidade do SIP	63
3 Testes de Desempenho do Protocolo SIP para Chamadas de Voz sobre IP	67
3.1. Introdução	67
3.2. Definições	68
3.2.1. Post-Dial Delay	68
3.2.2. Post-Pickup Delay	69
3.2.3. Call Release Delay	70
3.2.4. Retardo	72
3.2.5. Jitter	72
3.2.6. Perda de Pacotes	73
3.3. Metodologia do Experimento	73
3.4. Softwares e Hardware Utilizados	78
3.5. Procedimentos Gerais do Experimento	81
3.6. Descrição dos Experimentos	82
3.6.1. Cenário 1	82
3.6.1.1. Variação do Tipo de Chamada	82
3.6.1.2. Variação do Tipo de Chamada e Jitter	83
3.6.1.3. Variação do Tipo de Chamada e Perda de Pacotes	83
3.6.1.4. Variação da Largura de Banda	83
3.6.2. Cenário 2	83
3.6.2.1. Variação do Tipo de Chamada	84
3.6.2.2. Variação do Tipo de Chamada e Perda de Pacotes	84
4 Resultados	85
4.1. Apresentação dos Resultados	85
4.1.1. Cenário 1 - Variação do Tipo de Chamada	85
4.1.2. Cenário 1 – Variação do Tipo de Chamada e Jitter	90
4.1.3. Cenário 1 – Variação do Tipo de Chamada e Perda de Pacotes	93
4.1.4. Cenário 1 – Variação da Largura de Banda	112

4.1.5. Cenário 2 – Variação do Tipo de Chamada	115
4.1.6. Cenário 2 – Variação do Tipo de Chamada e Perda de Pacotes	117
4.2. Comparação dos Resultados	122
4.2.1. Recomendação E.721	122
4.2.2. Referência [30]	123
4.2.3. Referência [37]	125
4.2.4. Referência [16]	125
4.2.5. Referência [31]	125
5 Conclusão	127
5.1. Trabalhos Futuros	129
6 Referências	130

## Lista de figuras

Figura 1 – Estabelecimento de uma chamada	26
Figura 2 – UAC e UAS, entidades lógicas	28
Figura 3 – Servidor stateful proxy	31
Figura 4 – Message flow de forking paralelo	36
Figura 5 – Message flow de forking seqüencial	37
Figura 6 – Message flow de uma autenticação	38
Figura 7 – Interação entre proxy, registrar e serviço de localização	39
Figura 8 – Diferença de funcionamento entre um B2BUA e um servidor proxy	40
Figura 9 – Message flow de um redirecionamento de chamada	42
Figura 10 – ACK hop-by-hop	51
Figura 11 – ACK end-to-end com Record-Route	52
Figura 12 – Processamento da requisição CANCEL	53
Figura 13 – Transações em uma chamada	59
Figura 14 – Relações entre transações	59
Figura 15 – Diálogo x Transação	61
Figura 16 – Diferença no roteamento com o cabeçalho Record-Route	62
Figura 17 – Etapas de um estabelecimento de chamada	67
Figura 18 – Definição do post-dial delay para SIP sobre UDP	69
Figura 19 – Definição do post-dial delay para SIP sobre TCP	69
Figura 20 – Definição do post-pickup delay	70
Figura 21 – Definição do call release delay para SIP sobre UDP	71
Figura 22 – Definição do call release delay para SIP sobre TCP	72
Figura 23 – Softphone X-Lite	80
Figura 24 – Softphone Sip Communicator	80
Figura 25 – Topologia do cenário 1	82
Figura 26 – Topologia do cenário 2	84
Figura 27 – Média e 95% do PDD x TC (softphone A)	85
Figura 28 – Média e 95% do PDD x TC (softphone B, UDP)	86
Figura 29 – Média e 95% do PDD x TC (softphone B, TCP)	86
Figura 30 – Média e 95% do PPD x TC (softphone A)	87
Figura 31 – Média e 95% do PPD x TC (softphone B, UDP)	88
Figura 32 – Média e 95% do PPD x TC (softphone B, TCP)	88
Figura 33 – Média e 95% do CRD x TC (softphone A)	89

Figura 34 – Média e 95% do CRD x TC (softphone B, UDP)	89
Figura 35 – Média e 95% do PDD x TC (softphone B, TCP)	90
Figura 36 – Média do PDD x TC com variação do jitter (softphone A)	91
Figura 37 – 95% do PDD x TC com variação do jitter (softphone A)	91
Figura 38 – Média do PPD x TC com variação do jitter (softphone A)	92
Figura 39 – 95% do PPD x TC com variação do jitter (softphone A)	92
Figura 40 – Média do CRD x TC com variação do jitter (softphone A)	93
Figura 41 – 95% do CRD x TC com variação do jitter (softphone A)	93
Figura 42 – Média do PDD x TC com variação da perda (softphone A)	94
Figura 43 – 95% do PDD x TC com variação da perda (softphone A)	94
Figura 44 – Média do PDD x TC com variação da perda (softphone B, UDP)	97
Figura 45 – 95% do PDD x TC com variação da perda (softphone B, UDP)	97
Figura 46 – Média do PDD x TC com variação da perda (softphone B, TCP)	99
Figura 47 – 95% do PDD x TC com variação da perda (softphone B, TCP)	99
Figura 48 – Média do PPD x TC com variação da perda (softphone A)	101
Figura 49 – 95% do PPD x TC com variação da perda (softphone A)	102
Figura 50 – Média do PPD x TC com variação da perda (softphone B, UDP)	103
Figura 51 – 95% do PPD x TC com variação da perda (softphone B, UDP)	104
Figura 52 – Média do PPD x TC com variação da perda (softphone B, TCP)	105
Figura 53 – 95% do PPD x TC com variação da perda (softphone B, TCP)	105
Figura 54 – Média do CRD x TC com variação da perda (softphone A)	107
Figura 55 – 95% do CRD x TC com variação da perda (softphone A)	107
Figura 56 – Média do CRD x TC com variação da perda (softphone B, UDP)	109
Figura 57 – 95% do CRD x TC com variação da perda (softphone B, UDP)	109
Figura 58 – Média do CRD x TC com variação da perda (softphone B, TCP)	110
Figura 59 – 95% do PDD x TC com variação da perda (softphone B, TCP)	111
Figura 60 – Média e 95% do PDD x Largura de banda (softphone A)	113
Figura 61 – Média e 95% do PPD x Largura de banda (softphone A)	114
Figura 62 – Média e 95% do CRD x Largura de banda (softphone A)	114
Figura 63 – Média e 95% do PDD x TC (softphone A)	115
Figura 64 – Média e 95% do PPD x TC (softphone A)	116
Figura 65 – Média e 95% do CRD x TC (softphone A)	117
Figura 66 – Média do PDD x TC com variação da perda (softphone A)	117
Figura 67 – 95% do PDD x TC com variação da perda (softphone A)	118
Figura 68 – Média do PPD x TC com variação da perda (softphone A)	119
Figura 69 – 95% do PPD x TC com variação da perda (softphone A)	119

Figura 70 – Média do CRD x TC com variação da perda (softphone A)	120
Figura 71 – 95% do CRD x TC com variação da perda (softphone A)	121
Figura 72 – Média e 95% do PDD x Largura de banda	124
Figura 73 – Média e 95% do PPD x Largura de banda	124
Figura 74 – PDD x Perda de pacotes	126

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Objetivos de PDD da Nigéria	18
Tabela 2 – Classes de respostas SIP	56
Tabela 3 – Respostas SIP definidas na RFC 3261	57
Tabela 4 – Campos de cabeçalho definidos na RFC 3261	58
Tabela 5 – Distâncias em relação à localidade de referência	74
Tabela 6 – Localidades escolhidas e RTTs medidos	75
Tabela 7 – Valores de RTT escolhidos	75
Tabela 8 – Situações selecionadas para o ambiente com um proxy	77
Tabela 9 – Situações selecionadas para o ambiente com dois proxies	78
Tabela 10 – Configuração dos PCs utilizados	78
Tabela 11 – Softwares utilizados	79
Tabela 12 – Piores valores de PDD (softphone A)	95
Tabela 13 – Piores valores de PDD (softphone B, UDP)	98
Tabela 14 – Piores valores de PDD (softphone B, TCP)	100
Tabela 15 – Piores valores de PPD (softphone A)	102
Tabela 16 – Piores valores de PPD (softphone B, UDP)	104
Tabela 17 – Piores valores de PPD (softphone B, TCP)	106
Tabela 18 – Piores valores de CRD (softphone A)	108
Tabela 19 – Piores valores de CRD (softphone B, UDP)	110
Tabela 20 – Piores valores de CRD (softphone B, TCP)	111
Tabela 21 – Tamanho médio das mensagens SIP	112
Tabela 22 – Piores valores de PDD	118
Tabela 23 – Piores valores de PPD	120
Tabela 24 – Piores valores de CRD	121
Tabela 25 – Objetivos de PDD, PPD e CRD (Recomendação E.721)	122
Tabela 26 – Distâncias em relação à localidade de referência	123
Tabela 27 – Média do PDD, PPD e CRD para cada tipo de chamada	123
Tabela 28 – Sugestão de objetivos de PDD, PPD e CRD	127