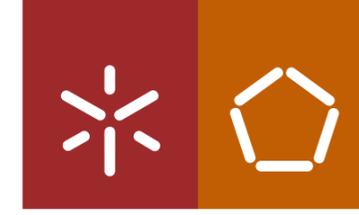




Pedro Filipe Mendes Queirós

Monitorização da Qualidade de Serviço da
Rede Portuguesa de Investigação e Ensino
(RCTS)

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Filipe Mendes Queirós

Monitorização da Qualidade de Serviço da
Rede Portuguesa de Investigação e Ensino
(RCTS)

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia de Comunicações

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Alexandre Santos
Professora Doutora Maria João Nicolau

DECLARAÇÃO

Nome: Pedro Filipe Mendes Queirós

Correio electrónico: a39845@alunos.uminho.pt

Tlm.: 916502005

Número do Bilhete de Identidade: 12526288

Título da dissertação: Monitorização da Qualidade de Serviço da Rede Portuguesa de Investigação e Ensino (RCTS)

Ano de conclusão: 2013

Orientadores:

Prof. Dr. Alexandre Santos

Profª Drª Maria João Nicolau

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia de Comunicações

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, 09 / 11 / 2013

Assinatura: _____

Dedicado à memória da minha avó, Maria Manuela.

Saudades tuas ...

Agradecimentos

Esta dissertação marca o final de um longo percurso académico, o qual teria sido bem mais penoso sem a ajuda de algumas pessoas, às quais gostaria de agradecer. Consciente de que não será possível incluir os nomes de todos aqueles que me apoiaram durante este percurso, desculpo-me já por esse facto.

Agradeço às pessoas na FCCN que me deram o seu precioso *feedback* e pontos de vista, enriquecendo o documento de maneira imensurável: Ana Pinto, Carlos Friaças, Emanuel Massano e João Nuno Ferreira. Agradeço também a orientação e apoio dos meus orientadores, os professores Alexandre Santos e Maria João Nicolau, que se mostraram sempre disponíveis quando mais precisei e guiaram-me até ao término desta dissertação. A eles, o meu muito obrigado.

Para os meus colegas de curso mais próximos: Carlos Carneiro, Diogo Matos, Ernesto Fernandes, Francisco Silva, João Veiga, João Galvão, Nélon Marques, Nuno Freitas, Rui Vaz, Sérgio Almeida, Susana Sousa e Tiago Lopes. Obrigado pela vossa amizade, durante os bons e maus momentos vividos ao longo do curso.

Aos meus amigos de longos anos, Luís Fernandes, Mário Lameiras e Nuno Carvalho, agradeço os vossos conselhos e a amizade que esteve sempre presente nos momentos cruciais.

Obrigado à minha irmã Daniela, ao meu cunhado Nuno e à minha sobrinha Érica, pelo ânimo que me deram sempre que precisei. Para os meus avós, António Mendes e Maria Manuela, o vosso amor e exemplo fez de mim uma pessoa melhor.

Para a Rita, obrigado pelo teu amor, apoio, amizade, compreensão e paciência. A tua força e carinho ajudaram-me a finalizar mais esta etapa da minha vida.

Finalmente, nada disto seria possível sem o apoio incondicional dos meus pais, Alberto e Adriana. Obrigado por me proporcionarem esta oportunidade e acreditarem sempre em mim e no meu trabalho.

Resumo

No âmbito do trabalho desta dissertação, intitulada “Monitorização da Qualidade de Serviço da Rede Portuguesa de Investigação e Ensino (RCTS)”, é proposta a especificação de uma nova sonda para a Rede Ciência Tecnologia e Sociedade, baseada em soluções *open source*. Esta sonda faz parte de uma rede de sondas, cujo objetivo é a medição da qualidade de serviço da Rede Ciência Tecnologia e Sociedade. Um sistema de gestão centralizado auxilia na manutenção da rede de sondas.

Inicialmente é feita uma análise dos métodos e das ferramentas envolvidas na medição de parâmetros de qualidade de serviço. De seguida, avalia-se a possibilidade de canibalizar o *hardware* atualmente em uso para instalar uma nova solução de medição de parâmetros de qualidade de serviço. Após a apresentação de vários métodos de sincronização temporal, é tornado claro o propósito destes no contexto do trabalho desenvolvido nesta dissertação.

Finalmente, é apresentada a arquitetura da solução final, assente no *Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture* e num sistema de gestão centralizado das sondas, baseado no *Spacewalk*. São também apresentados resultados de testes conduzidos para aferir a legitimidade do *Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture*, como ferramenta válida para a medição dos parâmetros de qualidade de serviço da Rede Ciência Tecnologia e Sociedade, bem como um plano de migração para a nova solução.

Abstract

Within the scope of this thesis, titled “Quality of Service monitoring of the Portuguese National Research and Education Network (RCTS)”, the specification of a new probe for the “Rede Ciência Tecnologia e Sociedade” network, based on open source solutions, is proposed. This probe is part of a network of probes, whose purpose is to measure the quality of service of the “Rede Ciência Tecnologia e Sociedade” network. A centralized management system assists in maintaining the network of probes.

Initially, the methods and tools involved in the measurement of quality of service parameters is analyzed. Next, the possibility of salvaging the hardware currently in use to install a new solution for measuring the quality of service parameters is evaluated. After presenting several methods for time synchronization, the purpose of these in the context of the work undertaken in this thesis is explicated.

Finally, the architecture of the final solution, based on Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture and on a centralized management system, based on Spacewalk, is presented. Results of tests conducted to assess the legitimacy of Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture as a valid tool for measuring the quality of service parameters of the “Rede Ciência Tecnologia e Sociedade” network, as well as a migration plan for the new solution, are also presented.

Conteúdo

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Lista de Acrónimos	xv
Índice de Figuras	xix
Índice de Tabelas	xxiii
Índice de Listagens	xxv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia de trabalho	4
1.4 Estrutura	4
2 Estado da arte	7
2.1 Medição ativa	7
2.2 Medição passiva	10
2.3 Projetos internacionais	13
2.4 Conclusão	15
3 Reutilização de sondas	17
3.1 Enquadramento	17
3.2 Caracterização da sonda	19

3.3	Testes efetuados	20
3.4	Time Stamp Engine	24
3.5	Conclusão	25
4	Sincronização temporal	27
4.1	Enquadramento	27
4.2	Métodos de sincronização temporal	29
4.2.1	Network Time Protocol (NTP)	32
4.2.2	Precision Time Protocol (PTP)	34
4.2.3	Robust Absolute and Difference Clock (RADclock)	36
4.3	Conclusão	37
5	Arquitetura	39
5.1	Métricas de qualidade de serviço	39
5.2	perfSONAR	40
5.2.1	Componentes	41
5.2.2	Implementações	42
5.2.3	Ferramentas de medição	44
5.3	Instalação do perfSONAR - testes e resultados	47
5.3.1	Primeiros testes	48
5.3.2	Alterações no ambiente de testes	54
5.3.3	Integração com sistema automático de relatórios	61
5.4	Sistema de gestão centralizado	67
5.5	Segurança	78
5.6	Conclusão	80
6	Plano de migração	83
6.1	Introdução	83
6.2	Plano A - Reutilização do <i>hardware</i> atual	85
6.3	Plano B - Instalação em novo <i>hardware</i>	86
6.4	Conclusão	88
7	Conclusões e Trabalho Futuro	89
A	Manual de utilizador	93
A.1	Introdução	93
A.2	Spacewalk	93
A.2.1	Instalação do Spacewalk	94

<i>CONTEÚDO</i>	xiii
A.2.2 Configuração do Spacewalk	97
A.2.3 Utilização do Spacewalk	98
A.3 perfSonar Performance Toolkit	145
A.3.1 Instalação do perfSonar Performance Toolkit	145
A.3.2 Configuração do perfSonar Performance Toolkit	145
A.3.3 Utilização do perfSonar Performance Toolkit	152
B Conteúdo do ficheiro <i>ntp.conf</i>	157
C Conteúdo do ficheiro <i>enabled_services</i>	159
D Conteúdo do ficheiro <i>authorized_keys</i>	161
E Conteúdo do ficheiro <i>osad.conf</i>	163
F Conteúdo do ficheiro <i>CentOS-Base.repo</i>	165
G Conteúdo do ficheiro <i>epel.repo</i>	167
H Conteúdo do ficheiro <i>Internet2.repo</i>	169
I Conteúdo do ficheiro <i>Internet2-web100_kernel.repo</i>	171
J Conteúdo do ficheiro <i>perfsnar-qos.php</i>	173
K Conteúdo do script <i>pS - Init DB</i>	181
L Conteúdo do script <i>pS - Disable readahead</i>	183
M Conteúdo do script <i>Spacewalk config</i>	185
N Conteúdo do script <i>Services config</i>	187
O Conteúdo do script <i>Firewall config</i>	189
Referências bibliográficas	197

Lista de Acrónimos

ACTS	Automated Computer Time Service, p. 30
BGP	Border Gateway Protocol, p. 10
BIOS	Basic Input/Output System, pp. 20, 22, 23, 85, 87
BMC	Best Master Clock, p. 35
BWCTL	Bandwidth Controller, pp. xix, 45
CAIDA	Cooperative Association for Internet Data Analysis, p. 15
CD	Compact Disc, pp. 75, 135
CDMA	Code Division Multiple Access, pp. 8, 30, 35
CF	Compact Flash, pp. 20–25, 48, 85
CPU	Central Processing Unit, pp. xix, 22, 56
DMA	Direct Memory Access, pp. 22, 23, 25
DNS	Domain Name System, pp. 14, 63
DSI	Departamento de Sistemas de Informação, p. 48
EPEL	Extra Packages for Enterprise Linux, p. 70
FCCN	Fundação para a Computação Científica Nacional, pp. 2–4, 17, 25, 39, 47, 48, 54, 61, 67–69, 78, 81, 84–92
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pp. 92, 93, 145
FLL	Frequency Loop Lock, pp. 33, 34
FQDN	Fully Qualified Domain Name, p. 97
GPG	GNU Privacy Guard, pp. xx, 104, 113, 129
GPS	Global Positioning System, pp. 3, 8, 30, 34, 35, 61, 80, 90
GUI	Graphical User Interface, pp. xix, 43, 47, 63, 69, 71, 109
HADES	Hades Active Delay Evaluation System, pp. 45, 46
HEP	High Energy Physics, p. 14
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, pp. 41, 97

ICMP	Internet Control Message Protocol, pp. 7–9
IDE	Integrated Drive Electronics, pp. 20–25, 48
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, p. 34
IEPM	Internet End-to-end Performance Measurement, p. 14
IETF	Internet Engineering Task Force, pp. 8, 12, 44, 46
IP	Internet Protocol, pp. 10, 12, 63, 65, 77, 94, 125, 154
IPFIX	IP Flow Information Export, pp. 12, 13
IPPM	IP Performance Metrics, pp. 8, 9, 39, 46
ISO	International Organization for Standardization, pp. 63, 75, 117, 135, 137, 138
LAN	Local Area Network, pp. 10, 32, 34, 37
LHC	Large Hadron Collider, p. 44
LS	Lookup Service, p. 42
MA	Measurement Archive, p. 42
MIB	Management Information Base, p. 10
MP	Measurement Point, pp. 42, 45
NCC	Network Coordination Centre, p. 13
NM-WG	Network Measurement Working Group, p. 40
NOC	Network Operations Center, p. 43
NREN	National Research and Education Network, pp. 2, 43
NTP	Network Time Protocol, pp. xii, xix, xxi, 3, 25, 31–38, 48, 49, 51–54, 56, 57, 63, 66, 70, 71, 80, 90, 117, 145, 150
NTS	Network Time System, p. 38
OCXO	Oven-controlled crystal oscillator, p. 28
OGF	Open Grid Forum, pp. 40, 43
ONE	Open Network Environment, p. 44
OPN	Optical Private Network, p. 44
OSI	Open Systems Interconnection, pp. 10, 31, 34
OWAMP	<i>one-way active measurement protocol</i> , pp. xix, xxi, 8, 45, 46, 48, 51, 80, 90, 147, 148
OWD	One-Way Delay, pp. xix, xxii, 49, 50, 53, 55, 151–154
perfSONAR	Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture, pp. xix, 3, 5, 14, 39–42, 44, 46, 47, 67, 80, 89, 92
perfSONAR MDM	perfSONAR Multi-Domain Monitoring, pp. 42–45, 47
perfSONAR-PS	perfSONAR Perl Services, pp. xix, xx, 42–45, 47–49, 58, 61, 63, 66, 67, 70, 78–80, 85

PERT	Performance Enhancement Response Team, p. 43
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor, pp. 44, 61, 154
PIO	Programmed input/output, pp. xxiii, 22–24
PLL	Phase Loop Lock, pp. 33, 34
PPS	Pulse Per Second, p. 90
PTP	Precision Time Protocol, pp. xii, 31, 34–38, 90
QoS	Quality of Service, pp. xix, 1, 2, 4, 8, 15, 39, 40, 46, 54, 58, 59, 61, 67, 69, 83–86, 88, 89, 91, 92
QTP	QoSMetrics Time Protocol, pp. 25, 38, 61
RADclock	Robust Absolute and Difference Clock, pp. xii, 31, 36–38, 90
RAM	Random Access Memory, pp. 20, 24, 25, 54, 85
RCTS	Rede Ciência Tecnologia e Sociedade, pp. xix, 2–4, 17, 18, 39, 48, 54, 58, 89, 91, 93, 145
RFC	Request For Comments, p. 8
RHEL	Red Hat Enterprise Linux, pp. 21, 43, 70
RHN	Red Hat Network, pp. 68, 81
RMON	Remote Monitoring, p. 10
SCOM	Serviços de Comunicações, p. 54
SLA	Service-level Agreement, p. 54
SNMP	Simple Network Management Protocol, p. 10
SNTF	Simple Network Time Protocol, pp. 34, 38, 90
SOAP	Simple Object Access Protocol, pp. 40, 41
SSD	Solid State Drive, pp. 25, 54, 85
SSH	Secure Shell, pp. 145, 148
SSL	Secure Sockets Layer, pp. xx, 113, 129
TAI	Temps Atomique International, p. 30
TCP	Transmission Control Protocol, pp. 9, 10, 12, 45
TCXO	Temperature-compensated crystal oscillator, p. 28
TSE	Time Stamp Engine, p. 25
TTL	Time To Live, p. 63
UDMA	Ultra Direct Memory Access, pp. xxiii, 22–24
UDP	User Datagram Protocol, pp. 9, 10, 45
URL	Uniform Resource Locator, pp. 42, 77, 98, 105, 125, 137
USB	Universal Serial Bus, pp. 20, 77, 81, 85–87, 135, 138
UTC	Coordinated Universal Time, pp. 28–32
WAN	Wide Area Network, pp. 13, 32

XML

Extensible Markup Language, p. 40

Índice de Figuras

3.1	Diagrama da RCTS	18
3.2	Mapa da distribuição das sondas	19
3.3	Adaptador da QoSMetrics	25
5.1	Arquitetura de 3 camadas do perfSONAR [71]	41
5.2	Encapsulamento das mensagens perfSONAR [71]	41
5.3	Arquitetura do BWCTL [164]	45
5.4	Arquitetura do OWAMP [173]	46
5.5	Demonstração do GUI do perfSONAR-PS	47
5.6	Exemplo de um gráfico com o resultado de um teste de One-Way Delay (OWD)	49
5.7	Gráfico com os resultados mínimos de um teste de OWD	50
5.8	Gráfico com os resultados máximos de um teste de OWD	50
5.9	Amostra da temperatura da sonda de Azurém	51
5.10	Amostra do <i>offset</i> do NTP da sonda de Azurém	52
5.11	Amostra do erro estimado do NTP na sonda de Azurém	52
5.12	Amostra do OWD mínimo entre a sonda de Azurém e Lisboa	53
5.13	Amostra das estatísticas do NTP da sonda de Azurém	54
5.14	Amostra do OWD mínimo entre a sonda de Lisboa e Gualtar	55
5.15	Amostra do OWD máximo entre a sonda de Lisboa e Gualtar	55
5.16	Porcentagem de utilização do CPU da sonda de Gualtar	56
5.17	Carga da sonda de Gualtar	56
5.18	Erro estimado do NTP da sonda de Gualtar	57
5.19	Carga na rede gerada pela sonda de Gualtar	57
5.20	Comparação das medições de QoS entre as soluções QoSMetrics e perfSONAR- PS	59
5.21	Alteração da latência reportada pela solução QoSMetrics	60
5.22	Alteração da latência reportada pela solução perfSONAR-PS	60
5.23	Comparação da latência entre IPv4 e IPv6	62

5.24	Exemplo de entradas nas tabelas DATA e DELAY, referentes à mesma sessão	64
5.25	Histograma referente ao exemplo apresentado	65
5.26	Amostra da aplicação do percentil 95 às medições entre a sonda de Lisboa e Gualtar	67
5.27	Exemplo da sincronização de canais com repositórios externos	69
5.28	Canais do Spacewalk	70
5.29	Exemplo de informação de <i>hardware</i> de um sistema	72
5.30	Exemplo da atualização de <i>software</i> de um sistema	73
5.31	Lista de <i>snapshots</i> de um sistema	74
5.32	Estado das <i>probes</i> de um sistema	75
5.33	Alguns dos pacotes utilizados para instalar o <i>pS Performance Toolkit</i> .	76
5.34	Exemplo do ecrã de instalação remota das sondas	77
5.35	Opção de fazer adicionar gamas de IPs a um perfil de <i>kickstart</i>	78
5.36	Portas utilizadas pelas ferramentas do perfSONAR-PS [190]	79
5.37	Portas utilizadas pelo Spacewalk [191]	80
A.1	Criação da conta de administrador	98
A.2	Vista geral do sistema	99
A.3	Configuração geral do Spacewalk	100
A.4	Configuração das opções de monitorização	101
A.5	Configuração das opções de <i>bootstrap</i>	102
A.6	Configuração dos canais de <i>software</i>	102
A.7	Criação de um canal principal - exemplo de configuração	103
A.8	Criação de um canal principal - exemplo de configuração	104
A.9	Obtenção do <i>ID</i> e <i>Fingerprint</i> da chave GPG	104
A.10	Lista de repositórios e opção de criar um novo repositório	105
A.11	Criação de um novo repositório	105
A.12	Seleção dos repositórios a sincronizar	106
A.13	Sincronização do canal com os repositórios	107
A.14	Detalhes do canal	108
A.15	Amostra do <i>log</i> de sincronização do canal	108
A.16	Lista de canais criados no Spacewalk	109
A.17	Lista de chaves de ativação	110
A.18	Criação de uma nova chave de ativação	111
A.19	Canais filho a subscrever	112
A.20	Chaves GPG e SSL	113
A.21	Criação de uma nova chave	114

A.22 Canais de configuração	114
A.23 Criação de um novo canal de configuração	114
A.24 Adicionar um ficheiro de configuração	115
A.25 Criação de um ficheiro de configuração	116
A.26 Lista das distribuições	119
A.27 Criação de uma nova distribuição	119
A.28 Lista de perfis de <i>kickstart</i>	120
A.29 Primeiro passo na criação de um perfil de <i>kickstart</i>	120
A.30 Segundo passo na criação de um perfil de <i>kickstart</i>	121
A.31 Terceiro passo na criação de um perfil de <i>kickstart</i>	121
A.32 Opções do <i>kickstart</i>	122
A.33 Opções do <i>kickstart</i>	123
A.34 Opções do <i>kickstart</i>	124
A.35 Opções do <i>kickstart</i>	126
A.36 Opções do <i>kickstart</i>	127
A.37 Opções do <i>kickstart</i>	128
A.38 Opções do <i>kickstart</i>	128
A.39 Opções do <i>kickstart</i>	129
A.40 Opções do <i>kickstart</i>	130
A.41 Lista de chaves de ativação	133
A.42 Lista de <i>scripts</i>	134
A.43 Amostra do ficheiro de <i>kickstart</i> gerado	135
A.44 Resultado da execução do comando <i>cobbler check</i>	136
A.45 Exemplo do ecrã de instalação remota das sondas	138
A.46 Informação sobre um cliente do <i>Spacewalk</i>	139
A.47 Procura de pacotes	140
A.48 Instalação de pacotes	141
A.49 Instalação de ficheiros de configuração	142
A.50 Opção de anular ações efetuadas	143
A.51 Opção de executar comandos remotamente	144
A.52 Interface <i>web</i> do perfSonar	146
A.53 Edição da informação administrativa do perfSonar	147
A.54 Configuração dos parâmetros do OWAMP para máquinas externas	148
A.55 Configuração dos serviços do perfSonar	149
A.56 Configuração dos servidores NTP	150
A.57 Lista e opções dos testes	151

A.58 Adicionar novo teste de OWD	151
A.59 Configuração do teste de OWD	152
A.60 Resultados dos testes de OWD	153
A.61 Gráfico com resultado de um teste de OWD	154
A.62 Resultado da execução do <i>script</i>	155

Índice de Tabelas

3.1	Velocidades máximas dos modos PIO e UDMA	22
-----	--	----

Índice de Listagens

3.1	Resultados obtidos pelas ferramentas <code>top</code> e <code>hdparm</code>	24
A.1	Exemplo do conteúdo do ficheiro <code>/etc/hosts</code>	94
A.2	Exemplo do conteúdo do ficheiro <code>/etc/sysconfig/network</code>	94
A.3	Comando para desativar a <code>firewall</code> do Linux	95
A.4	Conteúdo do ficheiro <code>/etc/selinux/config</code>	95
A.5	Conteúdo do ficheiro <code>/etc/host.conf</code>	95
A.6	Comando para instalar o repositório do <code>Spacewalk</code>	96
A.7	Conteúdo do ficheiro <code>/etc/yum.repos.d/jpackage-generic.repo</code>	96
A.8	Comando para instalar o repositório do <code>EPEL 6</code>	96
A.9	Comando para instalar a base de dados <code>PostgreSQL</code>	96
A.10	Comando para instalar o <code>Spacewalk</code>	97
A.11	Comando para configurar o <code>Spacewalk</code>	97
A.12	Comando para configurar o <code>Spacewalk</code>	97
A.13	Comando para fazer o <i>download</i> do DVD	118
A.14	Comandos para criar as diretorias	118
A.15	Comandos para criar as diretorias	118
A.16	Comandos para copiar as pastas	118
A.17	Exemplo de parâmetros a passar ao <i>kernel</i>	122
A.18	Pacotes a instalar	130
A.19	Comandos para fazer <i>download</i> das ferramentas de <i>boot</i> em rede	136
A.20	Comando para instalar a ferramenta <code>cman</code>	136
A.21	Comandos para substituir a palavra-passe pré-definida	137
A.22	Comandos para reiniciar o serviço <code>cobblerd</code> e aplicar as mudanças	137
A.23	Comandos para gerar o ficheiro ISO alterado	138
A.24	Comandos para executar o <i>script</i> desenvolvido	155

Capítulo 1

Introdução

“ Measurement is the first step that leads to control and eventually to improvement. If you can't measure something, you can't understand it. If you can't understand it, you can't control it. If you can't control it, you can't improve it.

”

H. James Harrington

A necessidade de medir e quantificar fenómenos, visíveis ou não ao olho humano, é intemporal e tornou-se intrínseca à atividade desenvolvida na área das redes de comunicação. Sem medir e testar as redes, seria impossível gerir estas de uma forma sustentável, oferecendo aos utilizadores das mesmas o melhor serviço possível.

Durante os últimos anos, temos vindo a assistir a uma evolução da Internet, tanto em termos de utilizadores, como em termos de largura de banda. Com o crescimento dos sistemas ubíquos e com a evolução dos dispositivos móveis, em 2011 o número de utilizadores da Internet atingiu aproximadamente 35% da população mundial (7 mil milhões de pessoas) [1].

O aumento da largura de banda possibilitou o aparecimento de novos serviços, como o *video-on-demand*, e de uma nova cultura - *always-online* - onde o modelo *best-effort* da Internet já não é adequado. Neste modelo, a rede não oferece qualquer garantia sobre a entrega atempada dos pacotes que circulam na rede, nem estabelece qualquer garantia sobre a qualidade da mesma.

É necessário agora oferecer aos utilizadores uma experiência de utilização melhorada, que permita a utilização destes novos serviços na sua plenitude. Para isso, é necessário medir constantemente a qualidade de serviço (em inglês, Quality of Service

(QoS) da rede.

É do interesse de um fornecedor de redes de acesso ter conhecimento dos problemas da rede mesmo antes dos seus clientes os reportarem, tornando-se vital uma monitorização constante das ligações, de forma a detetar atempadamente avarias na rede, bem como conter os estragos que estas podem causar.

As ferramentas de medição têm acompanhado a evolução das redes, com diferentes parâmetros a serem definidos para caracterizar o estado de uma rede e determinar a sua qualidade de serviço. É importante saber que parâmetros são adequados para descrever o estado da rede, tendo em conta os utilizadores desta e o propósito da mesma.

O tópico das medições de parâmetros de QoS encontra-se várias vezes associado ao tópico da sincronização temporal, que será igualmente abordado, com algum detalhe, no decorrer desta dissertação.

1.1 Enquadramento

No âmbito do projeto interno Sonar, a Fundação para a Computação Científica Nacional (FCCN) [2] adquiriu em 2006 um conjunto de sondas do tipo *appliance* da marca QoSMetrics, destinadas a aferir de forma contínua a qualidade da Rede Ciência Tecnologia e Sociedade (RCTS) [3], tanto em IPv4 como IPv6. Na altura, este sistema tinha sido implementado com sucesso na rede nacional de investigação e ensino francesa (National Research and Education Network (NREN)) Renater [4].

O facto de serem *appliances*, e por isso “fechadas”, obriga a que todas as peças sejam fornecidas por um único fornecedor. Apesar de possuírem algumas características únicas ao nível de *hardware*, estas sondas podem equiparar-se a servidores genéricos a correr uma variante de Linux.

Mais importante ainda, a marca original deixou de existir, tendo o sistema usado pela FCCN sido vendido por duas vezes a empresas diferentes. Estes novos “donos” não pretendem continuar a dar o suporte pretendido para as sondas utilizadas na RCTS. Apesar disso, a FCCN tem conseguido atualizar minimamente a rede de sondas, de modo a permanecer funcional. No entanto, perspectiva-se para breve o início da sua descontinuação.

Paralelamente, vários sistemas de aferição de desempenho de redes, desenvolvidos em *open source*, tanto na GÉANT [5] (rede académica europeia) como na Internet2 [6] (rede académica americana), atingiram uma notoriedade que permite considerá-los como alternativas credíveis para as atuais sondas, se se provar a sua maturidade e estabilidade. Considera-se por isso aliciante o desenvolvimento de uma especificação de uma nova sonda para a RCTS, baseada em soluções *open source*, mais especificamente na arquitetura Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture (**perfSONAR**).

1.2 Objetivos

Os objetivos principais do trabalho descrito nesta dissertação, são:

- Investigar, definir e validar uma solução de monitorização *open source* **perfSONAR**, totalmente autónoma, para substituição da solução proprietária atual, mantendo a compatibilidade com o sistema automático de produção de relatórios que está em operação.
- Investigar, definir e validar a utilização da referida solução nos equipamentos existentes.
- Investigar, definir e implementar soluções de melhoria da precisão das medições efetuadas pela nova solução de monitorização, nomeadamente através de protocolos abertos como o Network Time Protocol (NTP), assumindo a disponibilização de temporização através de um sistema com Global Positioning System (GPS)/*stratum-1* apenas nos sistemas centrais.
- Planear, em conjunto com a FCCN, a migração da solução proprietária para a nova solução *open source*, de modo a minimizar o impacto nos processos de recolha de dados em operação.
- Acompanhar e apoiar a FCCN no processo inicial de migração, testando e validando os resultados obtidos com a nova solução *open source*.
- Produzir documentação de suporte e administrar formação internamente na FCCN.

1.3 Metodologia de trabalho

Sendo o trabalho desta dissertação desenvolvido com orientação direta da FCCN, optou-se por fazer o acompanhamento do trabalho via videoconferência. Os interlocutores da FCCN criaram uma sala específica de videoconferência, onde duas vezes por mês se reunia a equipa de trabalho para discutir os desenvolvimentos e as opções a seguir.

A equipa de trabalho era constituída pelo autor e orientadores desta dissertação, localizados em Braga / Guimarães, e pela equipa da FCCN, localizada em Lisboa.

1.4 Estrutura

Neste capítulo foi efetuada uma breve introdução ao tema desta dissertação, bem como um enquadramento do trabalho a desenvolver no âmbito da utilização, por parte da FCCN, de uma solução *open source* de medição de QoS. Foram também descritos os objetivos propostos para esta dissertação e a metodologia de trabalho, apresentando-se agora a estrutura do restante documento.

No capítulo 2 apresenta-se o estado da arte das soluções de medição de QoS, bem como a descrição de alguns projetos dedicados a esta temática.

No capítulo 3 é efetuado um estudo sobre a reutilização do *hardware* das sondas atuais utilizadas pela FCCN, para a instalação de uma solução *open source* de medição de QoS.

No capítulo 4 são descritos diferentes métodos de sincronização temporal, bem como algumas melhorias introduzidas por estes. É também referida a importância e adequação destes em determinados cenários.

No capítulo 5 apresenta-se a arquitetura implementada para efetuar as medições de QoS na rede RCTS. É feita a descrição das métricas utilizadas, das ferramentas que são usadas para as obter e do sistema de gestão centralizado das sondas. São também apresentados os testes realizados e os resultados obtidos.

No capítulo 6 é feita uma proposta de um plano de migração da solução atual de medição de QoS, baseada na *appliance* da QoSMetrics, para uma nova solução *open*

source, baseada no `perfSONAR`.

Finalmente, o capítulo 7 encerra esta dissertação, com a apresentação das conclusões sobre o trabalho desenvolvido e as ilações sobre os objetivos a que nos propusemos. São também referidas oportunidades de trabalho futuro.

Capítulo 2

Estado da arte

Utilizando técnicas de monitorização do tráfego na rede, é possível estimar o comportamento da rede, saber se existem estrangulamentos na mesma, e mesmo detetar ataques a esta.

Para efetuar esta monitorização, utilizam-se normalmente dois métodos de medição do tráfego: medição ativa e medição passiva.

2.1 Medição ativa

A medição ativa consiste na introdução de tráfego na rede que permita a medição fim-a-fim de parâmetros como o atraso, a perda de pacotes, a variação do atraso entre pacotes sucessivos de dados (*jitter*), a largura de banda disponível, entre outros. As medições ativas são feitas recorrendo a *software* específico, o qual permite construir pacotes que são transmitidos através da rede e posteriormente permitem a análise e cálculo de alguns dos parâmetros referidos anteriormente.

Uma destas ferramentas, e provavelmente a mais conhecida, é a ferramenta `ping` [7]. Fazendo uso do protocolo Internet Control Message Protocol (ICMP), é enviada uma mensagem *echo request* a partir de um dispositivo na rede em direção a outro dispositivo. Aquando da recepção dessa mensagem, o recetor irá enviar uma mensagem de volta para o emissor (*echo reply*), permitindo a este calcular o tempo que demorou a enviar e receber a mensagem, oferecendo também informação sobre a perda de pacotes, caso esta tenha ocorrido.

Outra ferramenta que utiliza o protocolo ICMP é o `traceroute` [8]. Esta ferramenta permite determinar o caminho percorrido por uma mensagem na rede e o tempo de

ida e volta para cada salto até ao destino.

Ambas as ferramentas estão incluídas nas principais distribuições dos sistemas operativos mais utilizados e nasceram da necessidade dos administradores de redes conseguirem localizar os erros na rede. Ainda hoje, mais de duas décadas após o seu aparecimento, estas continuam a ser das ferramentas mais usadas para diagnosticar falhas de rede.

Infelizmente, devido ao abuso da utilização das mensagens ICMP para fins maliciosos, atualmente muitos sistemas bloqueiam ou ignoram estas, influenciando os resultados obtidos por estas ferramentas e impedindo uma avaliação correta do estado das ligações.

No entanto, o desenvolvimento deste tipo de ferramentas não estagnou e a investigação nesta área levou ao aparecimento de ferramentas capazes de avaliar outras métricas de QoS. Com a comunidade académica a mostrar um elevado interesse nestas ferramentas, era necessário estabelecer normas para a forma como as medições são efetuadas. Assim, em 1997 foi criado um grupo de trabalho na Internet Engineering Task Force (IETF), denominado por IP Performance Metrics (IPPM) [9], que se propôs a desenvolver métricas padrão para avaliar a qualidade, desempenho e confiança dos serviços de transporte de dados da Internet, em termos quantitativos. Este grupo de trabalho lançou documentos em forma de Request For Comments (RFC) [10] que especificam métricas e respetivos procedimentos para as determinar. Entre as métricas especificadas encontram-se métricas como *one-way delay* ou *one-way loss*, obtidas a partir do *one-way active measurement protocol* (OWAMP) [11]. Estas medições efetuadas só num sentido são bastante úteis na determinação de problemas nas ligações entre dois locais distintos, tendo em conta a natureza assimétrica do tráfego na internet (o caminho atravessado pelos pacotes num sentido nem sempre é o mesmo caminho percorrido pelos pacotes de resposta). Estas medições permitem ao operador perceber em que sentido da ligação é que se encontra o problema, mas necessitam que os terminais de rede se encontrem sincronizados com alta precisão, através de fontes externas de relógio como o GPS ou Code Division Multiple Access (CDMA).

Foram encontradas três ferramentas que implementam o protocolo OWAMP: OWAMP [12] (tem o mesmo nome do protocolo), desenvolvida pela Internet2, QoSMet [13] (é baseada num *draft* do protocolo) e J-OWAMP [14], uma implementação em Java desenvolvida pelo Instituto de Telecomunicações de Aveiro. Em [15], os autores descrevem uma solução em *hardware* que gera informação de sincronização de relógio extremamente precisa para os pacotes de teste OWAMP, tanto no emissor como no recetor.

Outras métricas especificadas pelo IPPM dizem respeito à capacidade de uma ligação (largura de banda disponível quando não existe tráfego), largura de banda disponível (quando existe tráfego concorrente) e capacidade de transferência em bloco (*bulk transfer capacity*). `Iperf` [25], `nuttcp` [26] e `thrulay` [27] são ferramentas populares que permitem calcular a largura de banda de uma ligação, usando User Datagram Protocol (UDP) ou Transmission Control Protocol (TCP), bem como outras métricas, tal como o atraso e a perda de pacotes.

Em [16] os autores fazem uma comparação, em ambiente laboratorial, entre várias ferramentas que permitem determinar a largura de banda de uma ligação, nomeadamente `Abing` [17], `ASSOLO` [18], `DietTopp` [19], `IGI/PTR` [20], `pathChirp` [21], `Pathload` [22], `Spruce` [23] e `Yaz` [24]. São referidos esforços anteriores de outros autores em levar a cabo a mesma tarefa, sendo no entanto indicado que o cenário experimental agora utilizado é mais abrangente e homogêneo.

Os parâmetros das comparações incluem a quantidade de tráfego de teste usado, o tempo de resposta e a precisão das ferramentas na presença de diferente tráfego concorrente. Devido à simplicidade do cenário usado, os resultados obtidos não permitem retirar conclusões acerca do comportamento das ferramentas num cenário real, com tráfego real. Ainda assim, os autores concluem que as ferramentas `ASSOLO`, `Pathload` e `Yaz` são precisas e escalam bem com o aumento de tráfego, enquanto que a ferramenta `Abing` parece ser a melhor opção em termos de tempo de resposta / intrusão.

Apesar das ferramentas inicialmente referidas (`ping`, `traceroute`) terem sido pioneiras, e continuarem a ser muito usadas atualmente, surgiram modificações a estas, de forma a melhorar o seu desempenho e a corrigir eventuais problemas na utilização destas.

O `fping` [28] permite fazer o mesmo que o `ping`, mas em paralelo para vários endereços. O `hping` [29] permite não só utilizar o protocolo ICMP, mas também TCP, UDP e RAW-IP, incluindo várias opções que permitem alterar o tamanho dos pacotes a enviar, testar regras de *firewalls*, entre outros. Para ultrapassar o bloqueio do tráfego ICMP, o `synack` [30] estabelece uma ligação TCP e determina os mesmos parâmetros que o `ping`.

O `mtrace` [31] surge como uma ferramenta análoga ao `traceroute`, mas para ser usada em redes com encaminhamento *multicast*, permitindo assim descobrir o caminho entre uma fonte e um recetor *multicast*. Em [32] e [33], os autores propõem técnicas

similares ao `traceroute`, mas que têm em conta a dinâmica dos caminhos fim a fim na Internet, dinâmica essa introduzida muitas vezes por sistemas de balanceamento de carga.

Existem também soluções híbridas como o `mtr` [34], que combina as funcionalidades de `ping` e `traceroute`, apresentando não só a informação dos nós que os pacotes atravessam até ao destino, como informação sobre o atraso para cada nó.

2.2 Medição passiva

A medição passiva, por sua vez, não interfere com o tráfego na rede, consistindo apenas na análise do mesmo. O tráfego é capturado numa localização específica da rede, sendo armazenado e posteriormente processado, de forma a elaborar estatísticas sobre o mesmo. Esta análise do tráfego pode ser feita com vários níveis de granularidade, visto que os pacotes podem ser capturados ao nível da ligação (camada 2 da pilha Open Systems Interconnection (OSI)), sendo possível assim analisar todo o encapsulamento desde esta camada até à camada de aplicação (camada 7 da pilha OSI).

A medição passiva pode ainda ser distinguida, conforme se utilizem métodos baseados em *hardware* ou *software*.

Os métodos baseados em *software* passam, na sua maioria, pela modificação dos sistemas operativos e das *drivers* dos dispositivos de rede, de forma a possibilitar a captura do tráfego que é processado por esses dispositivos de rede. Uma exceção é o protocolo Simple Network Management Protocol (SNMP) [35], o qual especifica a representação da informação de gestão e a comunicação da mesma entre agentes e gestores, atualmente na sua terceira versão [36]. As bases de dados que guardam os dados recolhidos são chamadas de Management Information Base (MIB), e a MIB mais amplamente implementada em vários encaminhadores é chamada de MIB-II [37]. Esta MIB guarda informação sobre vários protocolos de rede (Internet Protocol (IP), TCP, UDP, Border Gateway Protocol (BGP), etc.), sendo que essa informação é maioritariamente informação de estado ou informação agregada (contadores com o número de bytes de entrada numa interface de rede, por exemplo).

Outra MIB utilizada para monitorizar o estado da rede é a MIB Remote Monitoring (RMON) [39], permitindo um controlo mais granular da informação e a configuração de alarmes e acções a tomar aquando a ocorrência de certos eventos. No entanto, a sua complexidade restringe a sua utilização a redes locais (Local Area Network (LAN)),

relegando a sua utilização apenas nas extremidades da rede, não se conhecendo exemplos da sua utilização em redes de alto débito [38].

As ferramentas mais referidas na literatura para efetuar a captura do tráfego e respetiva análise são o `tcpdump/libpcap` [40], `tcptrace` [41] e `Wireshark` [42]. Em [43] os autores referem algumas limitações na utilização deste tipo de soluções em *hardware* convencional (computadores pessoais) para analisar tráfego em ligações de alto débito (10 Gbps ou mais).

Os métodos baseados em *hardware* são desenhados para possibilitar a réplica dos dados que atravessam o canal de transmissão, de forma a duplicar os mesmos, permitindo assim que o tráfego seja dividido e processado de igual forma pela interface de rede e pelo *hardware* específico de monitorização. Um exemplo de um estudo exaustivo deste tipo de medição pode ser encontrado em [44]. Os autores descrevem minuciosamente a sua experiência com medições passivas, oferecendo orientações baseadas nos resultados obtidos com a mesma.

As diferenças entre os métodos baseados em *software* e *hardware* são essencialmente o custo dos mesmos e a precisão dos dados recolhidos. Embora o método baseado em *software* permita a captura do tráfego sem custos adicionais (em *hardware*, pelo menos), não previne erros que possam surgir derivados de atrasos que normalmente são introduzidos pelo sistema operativo (no processamento dos pacotes, recorrendo à utilização de *buffers*, ou na gestão das interrupções de *input/output*, por exemplo), nem oferecem a precisão dos métodos baseados em *hardware*. Os dispositivos de rede comuns não são desenhados com a monitorização dos pacotes em mente, pelo que não estão aptos a oferecer um bom desempenho quando é necessário efetuar a captura dos pacotes, além do seu normal processamento.

Foi com esta limitação em mente que os autores em [45] desenvolveram *hardware* específico para a captura de tráfego em redes de alta velocidade. Desde então, as placas de captura e processamento de tráfego `Endace DAG` [46] são hoje usadas em muitos projetos que requerem alta fiabilidade e sincronismo dos dados [44], garantindo 100% de captura de tráfego, mesmo em redes de alto débito (10 Gbps).

No entanto, mesmo utilizando métodos baseados em *hardware* específico para a captura do tráfego, é necessário garantir o armazenamento e processamento do tráfego

capturado. Se esta captura for feita em troços de alto débito - 10 Gbps, por exemplo - a uma velocidade constante, podem obter-se aproximadamente 4.5 Terabytes de dados em apenas uma hora de captura ($10 \text{ Gbps} \times 3600 \text{ segundos} \simeq 4.5 \text{ Terabytes}$). Além do armazenamento, o processamento desta quantidade de dados também não é trivial. O processamento pode ser feito em tempo real, se for crítico, ou mais tarde, permitindo a correlação do tráfego capturado dentro de uma determinada janela de tempo.

Os autores em [47] sugerem um sistema com uma arquitetura que distribui as várias fases dos processos de captura e análise do tráfego, executando-as paralelamente em *hardware* convencional. Este sistema torna-se assim escalável e permite capturar o tráfego em interfaces de alto débito sem perda de pacotes.

Para ultrapassar algumas destas dificuldades, foram adotadas técnicas que permitem reduzir o tamanho dos dados necessários para a elaboração de estatísticas significativas, nomeadamente a filtragem, a limitação do tamanho dos pacotes, a agregação dos pacotes em fluxos e a amostragem dos pacotes [44].

A filtragem dos pacotes permite observar apenas uma parte do tráfego, recorrendo a regras que permitem filtrar o tipo de tráfego que desejamos recolher (por exemplo, todos os pacotes TCP), enquanto que a limitação do tamanho dos pacotes passa por considerar apenas os primeiros N bytes de dados do pacote, ignorando os restantes.

Um fluxo trata-se de uma sequência de pacotes que são trocados entre duas entidades numa rede. Esse fluxo pode ser identificado recorrendo a uma chave, formada por alguns campos dos pacotes de dados, como por exemplo os pares <IP origem, IP destino> + <porta#origem, porta#destino.> + <protocolo#> de transporte [48, 49]. Assim, todos os pacotes com uma chave idêntica são identificados como pertencentes ao mesmo fluxo. Esta agregação simplifica a análise do tráfego, incluindo no fluxo informação sobre o número total de pacotes, a data e hora de começo e fim do fluxo, entre outros.

Esta abordagem simplifica a recolha de informação importante para um provedor de serviços, não só para a medição da qualidade de serviço, mas para outros fins como contabilidade e faturação. Neste contexto, a Cisco [50] desenvolveu o **NetFlow** [51], que foi a norma *de facto* durante muitos anos, antes do IETF organizar um grupo de trabalho denominado de IP Flow Information Export (**IPFIX**) [52], que lançou uma norma de igual nomenclatura (**IPFIX**) [53–55], definindo como a informação de um fluxo IP deve ser formatada e transferida. Esta norma foi baseada no **NetFlow**, sendo

mesmo referido que o **IPFIX** foi uma evolução natural do **NetFlow**.

Outras ferramentas como o **sFlow** [56] e o **ntop** [57] permitem também efetuar a análise dos fluxos. Existem versões comerciais disponíveis em [58].

A amostragem dos pacotes, como o nome indica, passa por recolher amostras dos pacotes que chegam à interface de captura, em vez de capturar todo o tráfego - por exemplo, recolher 5 pacotes de 100 em 100 pacotes. Existem vários métodos de amostragem, considerados métodos clássicos, tais como aleatório simples, sistemático e estratificado, os quais são descritos e comparados em detalhe com novos métodos de amostragem em [59].

Também foram propostos métodos de amostragem de fluxos em [60–63], como indicado em [44].

2.3 Projetos internacionais

Enquanto algumas das ferramentas descritas anteriormente foram derivadas de projetos internacionais de medição de métricas de qualidade de serviço, outras foram diretamente utilizadas em alguns dos projetos mencionados de seguida.

Surveyor

Este projeto visava a medição do desempenho das ligações de uma Wide Area Network (**WAN**), utilizando métricas bem definidas. Neste projeto foram usadas as métricas de *one-way delay* e perda de pacotes para caracterizar as ligações entre as organizações participantes. Em 1999 este projeto contava com medições em 41 locais, maioritariamente universidades e centros de investigação [64].

RIPE Network Coordination Centre Test Traffic Measurement

Um projeto semelhante ao Surveyor, mas destinado a todos aqueles que desejam testar as suas ligações com outros clientes deste serviço. Disponibiliza um serviço comercial que é gerido pelo RIPE [65] Network Coordination Centre (**NCC**) [66].

Segundo informação disponibilizada na página [67], em Portugal existe um operador a utilizar este serviço.

RIPE Network Coordination Centre Atlas

Este trata-se de outro projeto do RIPE **NCC**, que utiliza sondas próprias (construídas pelo RIPE **NCC**) para efetuar medições. Estas sondas podem ser compradas

e instaladas por qualquer operador, funcionando como um dispositivo *plug-and-play*. O objetivo desta rede de sondas é elaborar vários mapas a nível mundial (latência, conectividade, etc.) para avaliar o estado da rede que liga as sondas. Depois de devidamente instaladas, estas sondas fazem vários testes com a rede de sondas ativas no projeto Atlas: testes de `traceroute`, Domain Name System (DNS), *round trip time*, entre outros. É também possível definir outro tipo de testes.

Os participantes neste projeto podem também aceder a todas as outras sondas, de forma a fazer medições não só com a sua sonda, mas com qualquer sonda participante no projeto (em Agosto de 2012 existiam já 1750 sondas espalhadas por todo o Mundo [68]). Este projeto é detalhado em [69].

perfSONAR

O `perfSONAR` é uma arquitetura orientada aos serviços que permite a monitorização do desempenho das redes, facilitando a resolução de problemas em ligações fim a fim que atravessam várias redes, desenvolvido através de uma colaboração internacional entre a Internet2, ESnet, RNP e a GÉANT [71]. Este especifica um conjunto de serviços [70] e define um protocolo de comunicação entre os vários serviços, permitindo a qualquer pessoa interessada implementar os mesmos. Esta ferramenta pode ser vista como *middleware*, permitindo que várias implementações de serviços diferentes comuniquem entre si, alargando assim o espectro de medições que podem ser efetuadas entre os utilizadores desta arquitetura.

Devido à relevância deste projeto no contexto desta dissertação, este é explicado com mais detalhe na secção 5.2.

PingER

Utilizando a ferramenta `ping`, este projeto da Internet End-to-end Performance Measurement (IEPM) visa testar a conectividade das ligações da Internet. Começando por se focar na comunidade High Energy Physics (HEP), atualmente conta com medições para mais de 700 locais em mais de 160 países e disponibiliza os dados das suas medições online [72].

Etomic

Este projeto pretende, à semelhança de outros, criar uma infraestrutura de medições ativas capaz de operar com uma resolução temporal elevada (aproximadamente 10 nanosegundos) e globalmente sincronizada. O objetivo destas medições é fornecer uma visão geral de alta resolução das rápidas mudanças do tráfego na rede [73].

Entre os participantes deste projeto encontram-se várias universidades e institutos de investigação europeus [74].

Archipelago

A Cooperative Association for Internet Data Analysis (CAIDA) [75] trata-se de uma colaboração entre organizações comerciais, governamentais e de investigação, com o objetivo de promover uma maior cooperação no desenvolvimento e manutenção de uma infraestrutura escalável e robusta para a Internet.

Muitas das ferramentas desenvolvidas em projetos de investigação são depois usadas em projetos da CAIDA em larga escala. Um desses projetos é o Archipelago (ou Ark), uma infraestrutura de medições ativas que pretende reduzir o esforço necessário ao desenvolvimento e implementação de medições em larga escala [76].

2.4 Conclusão

Apesar de se ter tentado referir aqui algumas das ferramentas mais usadas, seria impossível descrever todas as ferramentas que foram desenvolvidas para permitir a medição ativa ou passiva de parâmetros de qualidade de serviço. A CAIDA fornece uma lista mais extensa em [77], agrupando as ferramentas conforme a sua função na medição dos parâmetros.

As ferramentas atuais de medição ativa e passiva oferecem uma miríade de possibilidades de análise, permitindo compreender o comportamento da rede sob diferentes cenários, reais ou experimentais. Cabe ao administrador (ou investigador) o ónus de optar pela ferramenta adequada, que permita extrair a informação desejada.

Além das ferramentas mencionadas neste capítulo, será pertinente destacar a existência de ferramentas proprietárias que se destinam igualmente à medição/recolha de parâmetros de QoS, como SolarWinds Network Performance Monitor [78], CA Network Flow Analysis [79], Cisco IP SLA [80], Paessler PRTG Network Monitor [81], entre outros.

A evolução da própria rede e dos serviços que são oferecidos sobre esta, tem impulsionado a investigação desta matéria, produzindo com frequência novos dados e direções que permitem a evolução das métricas e das ferramentas utilizadas para as obter. Utilizando estes dados e ferramentas, torna-se mais fácil para o administrador de uma rede provisionar a mesma, de forma a evitar constrangimentos e a fornecer

aos seus utilizadores uma melhor qualidade de serviço, bem como uma qualidade de experiência melhorada.

Capítulo 3

Reutilização de sondas

Neste capítulo pretende-se expôr a metodologia e resultado dos testes laboratoriais efetuados para determinar a viabilidade da reutilização das sondas atualmente existentes na FCCN. Para tal, foi utilizado o *hardware* de uma das sondas existentes - QoSMetrics NetWarrior 100. O *hardware* destas sondas foi adquirido como parte de uma *appliance* fechada no ano de 2006, e por isso encontra-se já desatualizado comparado com a oferta atual do mercado. No entanto, pretende-se aferir se é possível fazer uma instalação personalizada de um sistema operativo de baixa complexidade e pouco exigente em termos de recursos, de forma a reutilizar o *hardware* para a instalação das ferramentas utilizadas no desenvolvimento desta dissertação.

A reutilização deste *hardware* permitiria uma diminuição de custos na transição para uma nova solução de medição da qualidade de serviço da RCTS.

3.1 Enquadramento

Desde 2006 que a FCCN possui um parque de sondas na RCTS, o qual permite o controlo e medição da qualidade de serviço que a FCCN oferece aos utilizadores desta rede - nomeadamente Universidades, Laboratórios de Investigação e Institutos Politécnicos. Como se pode verificar na figura 3.1, a RCTS tem uma cobertura em fibra óptica de 80% das entidades ligadas à RCTS, sendo as restantes ligações asseguradas por circuitos *ethernet* [82].

O parque de sondas é constituído por duas sondas principais, localizadas nos nós principais da rede (Lisboa e Porto), de maior capacidade, e por várias sondas de menor capacidade localizadas nos pontos de interligação da RCTS com as instituições

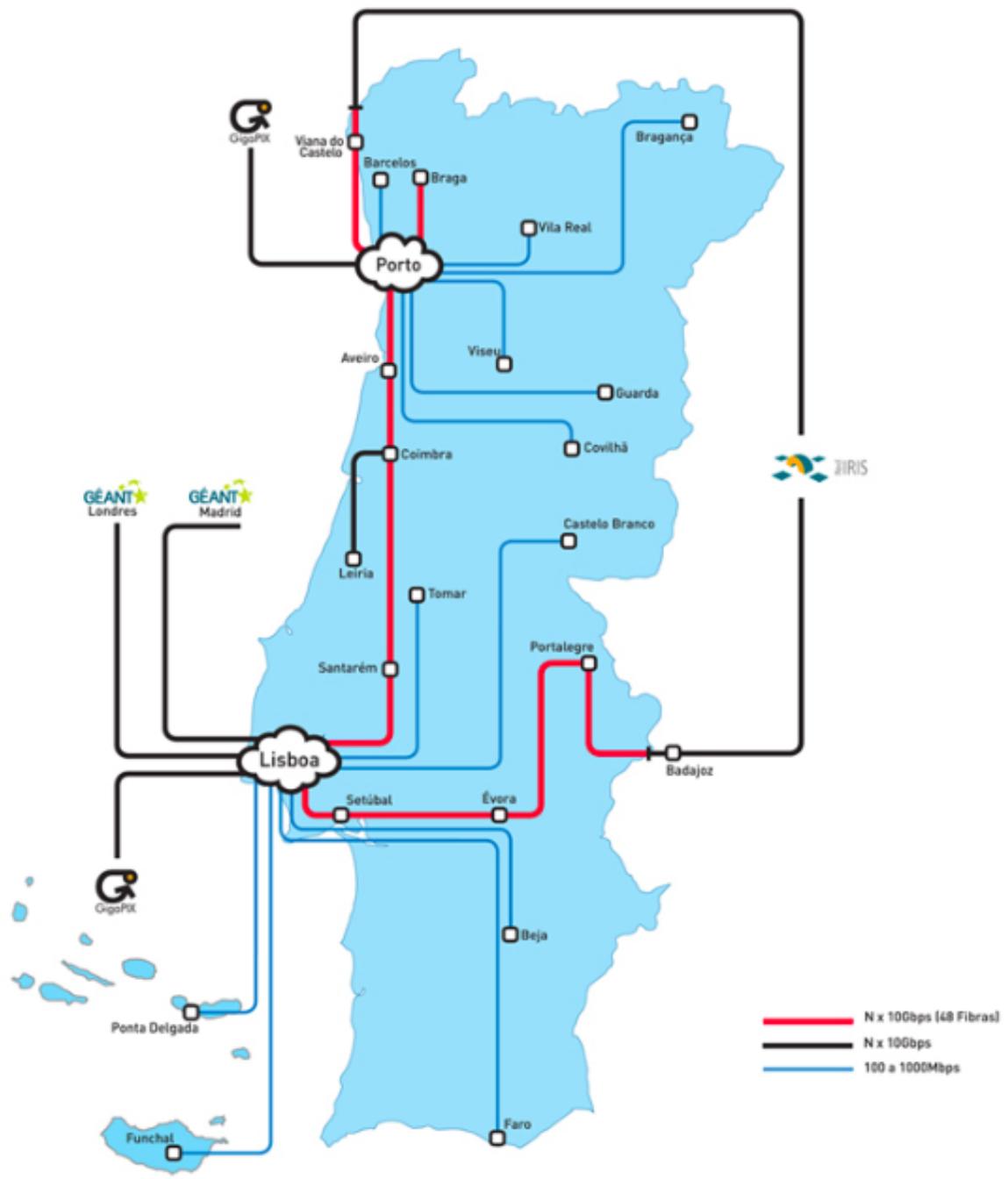


Figura 3.1: Diagrama da RCTS

acadêmicas.

No total, 26 sondas espalhadas pelos maiores pólos de Ensino Superior em Portugal - cuja localização é demonstrada na figura 3.2 - efetuam medições que permitem avaliar o estado das ligações da rede [83].



Figura 3.2: Mapa da distribuição das sondas

3.2 Caracterização da sonda

O *hardware* desta sonda é composto por um chassi de *rack*, tamanho 1U, que incorpora uma placa mãe de tamanho micro ATX da MSI, modelo KM4M-V, com um

processador AMD Sempron 2300+ a funcionar a 1.6 Ghz, 512 MBytes PC2700 DDR Random Access Memory (RAM) e placa gráfica integrada (partilha a memória principal, podendo ser configurada para utilizar um mínimo de 16 MBytes e um máximo de 64 MBytes). A especificação completa das características da placa mãe pode ser encontrada na página do fabricante [84].

Esta possui ainda um adaptador de cartões Compact Flash (CF) para Integrated Drive Electronics (IDE), utilizando como dispositivo de armazenamento primário um cartão SanDisk Ultra® Compact Flash® 2 GBytes. Este adaptador é um produto da QoSMetrics.

Durante o restante capítulo, futuras referências ao conjunto de *hardware* especificado serão feitas através das palavras “sonda QoSMetrics”.

3.3 Testes efetuados

O primeiro teste efetuado consistiu na tentativa de inicialização de um sistema operativo a partir de uma PEN Universal Serial Bus (USB). Acedendo à Basic Input/Output System (BIOS) da sonda QoSMetrics, configurou-se a mesma de forma a que esta procurasse inicializar o sistema operativo primariamente através de um dispositivo USB ligado às portas USB incluídas na placa mãe. Anteriormente, a PEN USB foi formatada e configurada com o instalador da distribuição CentOS do sistema operativo Linux.

Este primeiro teste revelou-se um sucesso, tendo a sonda QoSMetrics conseguido inicializar sem problemas o instalador.

Em seguida, o cartão SanDisk Ultra® Compact Flash® 2 GBytes instalado na sonda QoSMetrics foi substituído por outro cartão do mesmo modelo, mas de capacidade superior: 16 GBytes. Esta substituição prendeu-se com o facto de se querer preservar a instalação anterior para futuro *debugging* e também para evitar restrições no espaço de armazenamento durante a fase de testes.

Esta substituição foi bastante simples, tratando-se apenas de retirar o cartão anterior do adaptador e inserir o novo. Este foi prontamente detetado pela BIOS durante o próximo arranque da sonda QoSMetrics.

Já com o novo cartão, procedeu-se à instalação do sistema operativo `CentOS`, utilizando a sua última versão: `CentOS 6.2` [185]. A escolha deste sistema operativo foi efetuada com base em alguns critérios, sendo eles:

- Distribuição Linux baseada no Red Hat Enterprise Linux (`RHEL`) [86], com uma comunidade bastante ativa
- Compatibilidade expetável com a ferramenta a testar
- Experiência anterior na utilização deste sistema operativo

Após a instalação com sucesso deste sistema operativo, surgiu o primeiro problema: a sonda `QoSMetrics` não conseguia inicializar o sistema operativo a partir do cartão `CF`, bloqueando mesmo antes de carregar o *boot loader*. Após algumas tentativas de reinstalação do sistema operativo, o problema manteve-se.

Voltando a instalar o cartão `CF` original, verificou-se que a sonda `QoSMetrics` inicializava este sem qualquer problema, o que indicava que o problema não estava ligado a uma falha recente no *hardware* da sonda `QoSMetrics`. Foi então que surgiu a hipótese do novo cartão de 16 GBytes ser de alguma forma incompatível com o adaptador `CF` para `IDE`. Uma rápida pesquisa no *datasheet* do produto não indicava qualquer diferença significativa entre os cartões, a não ser a capacidade (2 GBytes / 16 GBytes) e a velocidade de leitura e escrita (15 MBytes por segundo / 30 MBytes por segundo, respetivamente) [87].

Pesquisando na Internet por problemas semelhantes, foi possível concluir que este era um erro comum em configurações semelhantes (utilização de um adaptador `CF` para `IDE` + cartão `CF` como dispositivo de armazenamento primário). Algumas fontes apontam para a possibilidade da controladora do cartão `CF` identificar este como removível, em vez de fixo [88, 89]. Apesar de isto impossibilitar a utilização do cartão `CF` como dispositivo de armazenamento primário no sistema operativo Windows, isto não faz diferença em sistemas operativos Linux [88].

De acordo com o fabricante, os cartões utilizados são fabricados por definição como sendo removíveis [90]. Como forma de desquite, seguiram-se os passos indicados em [88] para trocar o bit que identifica o cartão como sendo removível, de forma a poder torná-lo fixo. No entanto, o utilitário que efetua esta operação falhou, tanto no cartão de 2 GBytes como no cartão de 16 GBytes.

Outra causa provável referida em muitas fontes [91–95], é a possibilidade do cartão CF ou do adaptador CF para IDE não suportarem Direct Memory Access (DMA).

O DMA é uma tecnologia que permite aos componentes de um computador (por exemplo, o disco rígido ou a placa de rede) aceder à memória principal sem estarem dependentes do Central Processing Unit (CPU) para tal (usando interrupções). Isto permite que a transferência de dados entre estes componentes não dependa da velocidade do CPU e que o CPU não fique ocupado durante a transferência de dados.

Antes de se utilizar esta tecnologia, era utilizada a tecnologia Programmed input/output (PIO), em que o CPU é instruído para iniciar uma transferência de dados entre, por exemplo, o disco e a memória. O CPU tinha então de configurar esta transferência e efetuá-la, não podendo ser utilizado para executar outras instruções enquanto não finalizasse a transferência. Este modo de funcionamento, apesar de fácil de implementar, é ineficiente, causando um sobre carregamento no CPU.

Com o evoluir destas tecnologias, foram sendo criados novos modos, que permitem velocidades superiores na transferência de dados. A tabela 3.1 resume estes modos e as velocidades máximas que se podem obter [96].

Tabela 3.1: Velocidades máximas dos modos PIO e UDMA

Tecnologia	Modo	Velocidade máxima (MBytes/s)
PIO	1	5.2
	2	8.3
	3	11.1
	4	16.7
	5	20.0
	6	25.0
UDMA	1	25.0
	2	33.3
	3	44.4
	4	66.7
	5	100.0
	6	133.0
	7	166.0

Através de informação fornecida pelo fabricante, foi possível verificar que o cartão de 16 GBytes de facto suportava UDMA - até ao modo 2 [97].

Assim, nas definições da BIOS desativou-se o DMA e após reiniciar a sonda QoSMetrics,

o sistema operativo inicializou com sucesso. No entanto, o processo de inicialização demorou um tempo anormalmente elevado (aproximadamente 4 minutos). Analisando os *logs* do sistema, verificou-se que o *kernel* detetava o cartão CF como suportando o modo UDMA 2 (apesar de estar desativado na BIOS) e tentava inicializar o cartão neste modo. Após um tempo de espera pré definido (aproximadamente 30 segundos), o *kernel* tentava inicializar o cartão no modo imediatamente inferior, até conseguir continuar a inicialização do sistema operativo.

Só quando usava o modo PIO 4, o *kernel* conseguia continuar a inicialização do sistema operativo, o que significava que perdia cerca de 2 minutos a tentar inicializar o cartão CF. Com isto em mente, além da desativação do DMA na BIOS, forçou-se também a utilização do modo PIO 4 nos canais IDE em uso. Infelizmente, o *kernel* ignorou isto e continuou a detetar o cartão CF como suportando o modo UDMA 2, e por isso tentava inicializar o cartão CF nesse modo. Pesquisando por este sintoma na Internet, verificou-se mais uma vez que este era um problema comum entre utilizadores de cartões CF e adaptadores CF para IDE [92, 100].

A solução para este problema passou por instruir diretamente ao *kernel* do sistema operativo para não utilizar o DMA. Editando a configuração do *boot loader* utilizado (GRUB2), acrescentou-se a opção “libata.dma=3” na linha em que se especifica qual a imagem do *kernel* a inicializar. Isto desativa a utilização do DMA por parte do *kernel* nos cartões CF [101], o que força a deteção do cartão CF em modo PIO, evitando assim os atrasos na inicialização do sistema operativo.

Assim, chegou-se à conclusão que, de facto, o problema reside no adaptador CF para IDE. Como descrito em [102], alguns adaptadores não suportam DMA, visto que no passado os cartões CF também não suportavam este modo.

Prestando atenção à informação do fabricante, concluiu-se também que o cartão CF de 2 GBytes não suporta DMA, daí não se encontrarem estes problemas aquando a utilização deste cartão [97].

Neste caso, apesar da controladora IDE e do cartão CF suportarem DMA, quando tentam comunicar entre si, a comunicação falha porque o adaptador CF para IDE não possui o esquema de ligações necessário para transmitir os sinais DMA REQ e DMA ACK entre o cartão CF e a controladora IDE. Esta falha de comunicação origina o ciclo descrito em cima, em que o *kernel* deteta que o cartão CF suporta o modo UDMA 2, mas não consegue inicializar neste modo e vai tentando inicializar nos modos inferiores,

até optar pela utilização do modo PIO 4. Neste modo, não são utilizados os sinais que a controladora não suporta, e por isso é possível continuar a inicialização do sistema operativo.

Apesar da solução descrita ser eficaz, não é eficiente. Além da diminuição da taxa de transferência (o modo PIO 4 suporta uma taxa de transferência máxima de 16.7 MBytes por segundo e o cartão CF suporta o modo UDMA 2, que permite uma taxa de transferência máxima de 30 MBytes por segundo), o processador não poderá ser utilizado durante a transferência de dados entre o cartão CF e a memória RAM.

Esta ineficiência provou-se aquando a tentativa de correr testes de *one-way delay*, utilizando a ferramenta descrita na secção 5.2. O processador estava constantemente à espera do término de operações de *input/output*, e a carga deste atingia valores tão elevados que a máquina entrava num estado comatoso, em que os serviços deixavam de responder. Analisando o desempenho do cartão CF, foi possível perceber que a velocidade de leitura do cartão CF se situava à volta de valores que ajudariam a explicar o comportamento descrito anteriormente. Na listagem 3.1 podem-se verificar os valores que sustentam as afirmações anteriores.

Listagem 3.1: Resultados obtidos pelas ferramentas `top` e `hdparm`

```
[root@ps-probe1 ~]# top
top - 15:28:45 up 1 day, 22:52, 1 user, load average: 3.99, 3.92, 3.60
Tasks: 145 total, 5 running, 140 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
Cpu(s): 0.3%us, 0.3%sy, 0.0%ni, 0.0%id, 98.7%wa, 0.7%hi, 0.0%si, 0.0%st

[root@ps-probe1 ~]# hdparm -t /dev/hda
/dev/hda:
Timing buffered disk reads: 2 MB in 8.04 seconds = 254.66 kB/sec
```

3.4 Time Stamp Engine

Numa fase mais avançada desta dissertação, confirmaram-se as suspeitas de que a placa apresentada na figura 3.3 não serve apenas para fazer a conversão de cartões CF para IDE.

De facto, do lado esquerdo pode-se ver o cartão CF que é utilizado como disco primário pela solução da QoSMetrics. Do lado direito é realçado um oscilador, da Ecliptek [103], com um cristal de 24.576 MHz. Após se ter contactado a Ecliptek para obter mais informações sobre o oscilador, esta informou-nos que seria impossível fornecer informações adicionais, visto que não é possível identificar o modelo do

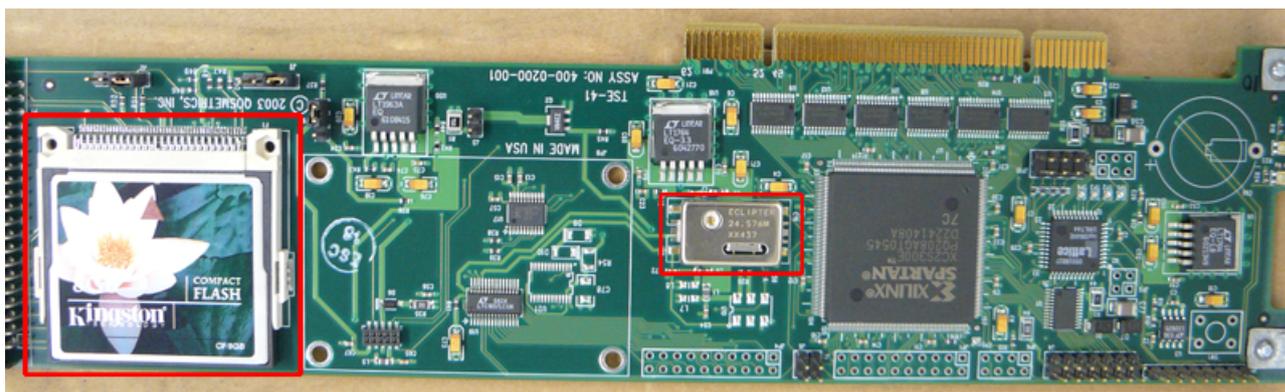


Figura 3.3: Adaptador da QoSMetrics

oscilador apenas com uma foto do mesmo. Esta prática serve também para proteger a propriedade intelectual dos seus clientes.

Após a leitura detalhada de alguma da documentação fornecida pela QoSMetrics à FCCN, foi possível determinar que o protocolo proprietário de sincronização temporal da QoSMetrics (QoSmetrics Time Protocol (QTP)) utiliza algoritmos NTP melhorados e um relógio estabilizado, oferecendo uma precisão de 250 milisegundos. O cristal anteriormente referido deverá servir de base a este relógio.

Na documentação também é feita referência à placa apresentada na figura 3.3, denominada de Time Stamp Engine (TSE), e ao facto dos carimbos temporais serem efetuados por esta. No capítulo 4 são apresentados mais pormenores sobre este tipo de soluções.

3.5 Conclusão

O *hardware* que se encontra atualmente à disposição da FCCN pode ser reutilizado de forma a instalar uma nova solução de medição de parâmetros de qualidade de serviço. No entanto, devido aos problemas que foram encontrados relacionados com a utilização de cartões CF, recomenda-se a substituição do adaptador de cartões CF para IDE por um que suporte DMA, ou a utilização de um disco Solid State Drive (SSD) como dispositivo de armazenamento primário. Recomenda-se ainda a expansão da memória RAM para o máximo suportado pela placa mãe: 2 GBytes.

Capítulo 4

Sincronização temporal

A sincronização temporal de dispositivos na Internet tem-se assumido como um dos problemas fundamentais a atacar, numa altura em que os sistemas distribuídos proliferam e as aplicações são construídas para tirar partido deles - como a *cloud*. Apesar de ser um problema antigo, a investigação em torno deste tema tem-se mantido enérgica, procurando descobrir novos métodos, mais fiáveis e precisos, que permitam aos dispositivos alcançarem a sincronização temporal mais rapidamente e também mantê-la, quando as condições na rede se alteram.

Neste capítulo explica-se o que é a sincronização temporal, quais os métodos existentes que permitem alcançá-la e mecanismos envolvidos, e em que situações é importante manter a mesma.

4.1 Enquadramento

A sincronização temporal trata de assegurar que dois (ou mais) relógios estão sincronizados, e que concordam com a hora do dia, ou com a ordem temporal de eventos produzidos por processos concorrentes. Imagine-se o seguinte cenário (simplificado): uma pessoa dirige-se a uma caixa multibanco para efetuar um depósito na sua conta. Em seguida, dirige-se a outra caixa multibanco diferente para efetuar um levantamento. Se os relógios das máquinas envolvidas no processo de atualização do saldo da conta não estiverem sincronizados, o utilizador pode ser confrontado com uma situação em que a ordem de levantamento é registada antes da ordem de depósito, negando assim a este o levantamento do seu dinheiro.

Outro cenário comum é a utilização de ferramentas de cópias de segurança, onde é realizada uma cópia de segurança de vários ficheiros alojados em computadores

diferentes, ligados através de uma rede. Se a ferramenta for instruída para fazer uma cópia de segurança de todos os ficheiros modificados na última hora, e se a noção de “última hora” não for consistente nos vários computadores, poderão existir problemas nas cópias de segurança.

Torna-se fácil de perceber a importância da sincronização temporal nestes cenários, podendo-se extrapolar as conclusões da falta de sincronização temporal para muitos outros cenários.

Quando se fala de sincronização temporal, existem vários termos que é preciso definir *a priori* para evitar ambiguidades.

Um relógio, no contexto de um computador, é formado por um oscilador e um contador: o oscilador gera uma certa frequência, através da vibração de um cristal, a qual é utilizada para incrementar o valor do contador, através de uma interrupção. Conforme a resolução do relógio, os valores lidos do contador podem ser definidos usando uma unidade temporal: microsegundos, milissegundos, segundos, minutos, horas, etc.

Para definir a hora do dia, basta usar uma referência temporal (designada por *época*) e contar quanto tempo passou desde então. O relógio será tão exato conforme estiver mais de acordo com uma referência universal do tempo, como por exemplo o Coordinated Universal Time (UTC) [104].

Poder-se-ia pensar que bastaria então acertar um relógio com uma determinada referência e que, a partir daí, este estaria sempre sincronizado com a dita referência. Os problemas surgem quando o oscilador varia a frequência, fazendo o contador avançar mais depressa ou mais lentamente. Esta flutuação do relógio está diretamente associada, entre outras, a alterações na temperatura ambiente, que modificam as propriedades do cristal do oscilador.

Existem diferentes cristais que são mais ou menos estáveis, mas os cristais normalmente utilizados nos computadores são os cristais de quartzo, que possuem um desvio de aproximadamente meio segundo por dia à temperatura de 31° Celsius [105]. Para aplicações mais específicas, existem cristais mais estáveis (e mais caros), como o Temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) ou o Oven-controlled crystal oscillator (OCXO).

Para manter este tipo de relógios sincronizados (os de cristais de quartzo), é necessário estar constantemente a fazer comparações com um relógio de referência mais estável, e ajustar o relógio de forma a que este esteja de acordo com o relógio de referência. Para evitar outros problemas, não deve ser possível a um relógio andar

para trás no tempo, ou seja, um relógio deve sempre aumentar o tempo. Assim, para ajustar um relógio, é modificada a frequência a que a interrupção acontece, acelerando ou desacelerando o relógio. É este o papel de um algoritmo de sincronização temporal.

Existem três funções que podem ser atribuídas a um relógio: [106]

- Estabelecer uma ordem entre eventos
- Medir a duração de eventos
- Definir uma hora global

Existem aplicações onde é importante manter a sincronização temporal, e onde um relógio não precisa de cumprir com todas as funções descritas acima (por exemplo, um relógio pode não estar de acordo com o UTC, mas pode estabelecer a ordem entre eventos). Algumas dessas aplicações incluem o mercado de acções na indústria financeira, assinaturas digitais, VoIP, video-conferências, sistemas de cópias de segurança, medições da qualidade de serviço de uma rede, entre outros. Entre estas aplicações, existem níveis de exatidão mais ou menos exigentes, que podem ser alcançados utilizando diferentes métodos de sincronização temporal [107, 108].

4.2 Métodos de sincronização temporal

O grande desafio dos algoritmos de sincronização temporal é conseguir lidar com os atrasos variáveis que surgem aquando o processo de sincronização. Estes atrasos podem ser consideráveis se a sincronização for feita através de uma rede, como a Internet, onde os caminhos são quase sempre assimétricos, e a carga da rede é inconstante.

O método que permite uma sincronização temporal mais exacta passa pela utilização de uma referência externa de relógio, directamente ligada ao computador, como por exemplo um relógio atómico. O relógio atómico é o padrão primário para medições de tempo e frequência utilizado pelos institutos internacionais de metrologia.

Os relógios atómicos são compostos por um elemento químico (hidrogénio, rubídio ou mais frequentemente, cézio). A transição dos átomos destes elementos entre estados de energia liberta radiação electromagnética, com uma determinada frequência, a qual tem a propriedade de ser sempre a mesma, não interessando onde ou como é medida, permitindo assim alcançar uma alta precisão. Desde 1967 que o “segundo” (unidade temporal) é definido como a duração de 9,192,631,770 ciclos de radiação associados à

transição entre estados de energia do átomo do césio-133, tendo os relógios atômicos baseados neste elemento evoluído desde então e permitindo uma exatidão de 1 segundo em 138 milhões de anos [109–112].

É com a média pesada entre cerca de 200 relógios atômicos espalhados por mais de 50 laboratórios internacionais que é definida a escala temporal Temps Atomique International (TAI), usada para definir o UTC [113].

Novos relógios têm vindo a ser desenvolvidos, nomeadamente os relógios ópticos, que utilizam outros elementos químicos como o estrôncio, o alumínio e o mercúrio, os quais permitem alcançar uma exatidão de 1 segundo em 3.7 mil milhões de anos. No futuro, estes relógios substituirão os relógios atômicos atualmente utilizados [114].

Os relógios atômicos são também utilizados em alguns serviços internacionais de distribuição do tempo, como a transmissão em ondas rádio (WWVB/WWV/WWVHF nos Estados Unidos, DCF77 na Alemanha, MSF no Reino Unido, entre outros) e a transmissão através da linha telefónica analógica (Automated Computer Time Service (ACTS) nos Estados Unidos), e também no serviço de GPS, nas redes celulares CDMA, e noutras aplicações onde é necessário obter uma sincronização extremamente precisa (na ordem dos nanosegundos).

Devido à complexidade e ao custo dos relógios atômicos, normalmente utilizam-se recetores GPS, CDMA ou de ondas rádio para receber a informação temporal oferecida por estes serviços, a qual é depois utilizada para fazer a sincronização temporal.

Os recetores GPS fornecem um pulso a cada segundo, com o flanco ascendente desse pulso alinhado com o UTC numa margem de 100 nanosegundos. A grande desvantagem dos recetores GPS é a necessidade de ter uma antena montada no exterior de um edifício (ou numa janela) para obter cobertura de pelo menos 4 satélites e fixar a sua posição - muitas vezes os custos e a logística associada a esta solução tornam-na proibitiva.

Os recetores CDMA ultrapassam esta desvantagem dos recetores GPS, visto que funcionam mesmo dentro dos edifícios. Existem também recetores CDMA que fornecem, à semelhança dos recetores GPS, um pulso temporal. No entanto, a distância do recetor à estação base influencia os tempos de propagação do sinal, criando um desvio desconhecido da informação temporal recebida em relação ao UTC. A exatidão destes sistemas é da ordem das dezenas de microsegundos.

Os recetores de ondas rádio são, hoje em dia, muito baratos e podem, à semelhança dos recetores CDMA, ser usados no interior de edifícios. Porém, estão sujeitos a interferências de outros sistemas e a atenuações significativas do sinal, permitindo

apenas obter uma exatidão na ordem das dezenas de milissegundos. A distância dos recetores à antena emissora também causa desvios desconhecidos da informação temporal relativamente ao UTC.

Outro método de sincronização temporal muito utilizado, é a sincronização através de uma rede de pacotes. Nesta área, existem três protocolos que dominam a literatura: o NTP [115, 116], o Precision Time Protocol (PTP) [117] e o Robust Absolute and Difference Clock (RADclock) [118].

O princípio da sincronização através de uma rede de pacotes é a troca de mensagens com informação temporal. O emissor envia uma mensagem, à qual é aplicada um carimbo temporal, com informação sobre a data e a hora a que a mensagem foi enviada. O recetor processa a mensagem e aplica-lhe outro carimbo temporal, enviando a mensagem de volta para o emissor. A maior dificuldade enfrentada por este método são os atrasos na elaboração destes carimbos temporais e a variação desses mesmos atrasos.

Nos sistemas terminais são introduzidos atrasos no processamento dos pacotes na interface de rede, no agendamento de processos do sistema operativo, nas interrupções, entre outros eventos que impedem o tratamento imediato dos pacotes com informação temporal. Na rede, os atrasos são introduzidos pela carga variável da rede e pelos elementos ativos da rede, como os roteadores e comutadores, que possuem *buffers* e filas internas que atrasam a transmissão dos pacotes [119].

Sumariamente, os atrasos são constituídos por:

- Preparação da mensagem
- Travessia da pilha OSI no envio da mensagem
- Acesso à rede
- Propagação da mensagem na rede
- Travessia da pilha OSI na receção da mensagem
- Manipulação da mensagem

As variações destes atrasos são causadas por:

- Indeterminação do agendamento de processos e da gestão de interrupções do sistema operativo

- Imprevisibilidade no acesso à rede
- Variação do tempo de propagação na rede

Em [108], os autores mediram a contribuição de cada um destes fatores, tendo estes sido divididos em atrasos da pilha de *software* (inclui os atrasos causados pelo sistema operativo, controladores de dispositivos, interrupções e o protocolo de sincronização temporal - neste caso, o NTP), atrasos das filas, atrasos da transmissão e atrasos da propagação. As suas conclusões são de que a maior parte dos erros de sincronização (cerca de 95%) têm origem na variabilidade dos atrasos da propagação, sendo por isso preferível utilizar caminhos simétricos para minimizar estes erros. Podem-se utilizar para isso várias técnicas: configuração dos protocolos de encaminhamento para preferirem caminhos simétricos ou utilização de túneis para atribuir caminhos simétricos entre um computador e os servidores NTP utilizados por este, por exemplo.

4.2.1 NTP

O NTP é o protocolo atualmente mais utilizado para efetuar a sincronização temporal de computadores sobre a Internet. Disponível de raiz nos três sistemas operativos mais utilizados (Windows, Linux e Mac OS X), tem uma base de utilizadores na ordem da população mundial de computadores. Em funcionamento há mais de 25 anos, este protocolo tem-se mantido robusto, mas a sua exatidão mostra-se inadequada face a algumas exigências atuais, visto que este oferece uma exatidão na ordem das dezenas de milisegundos numa WAN e cerca de um milisegundo numa LAN.

O protocolo assenta numa distribuição hierárquica em que cada nível tem o nome de *stratum*. O nível superior, denominado de *stratum 0* é formado por relógios de referência (como, por exemplo, os relógios atómicos referidos acima) que estão diretamente ligados aos servidores no *stratum 1*. Este é o *stratum* que possui a referência temporal mais exacta. No *stratum 2* estão os computadores que usam como referência temporal os servidores no *stratum 1*; no *stratum 3* estão os computadores que usam como referência temporal os servidores no *stratum 2*, e assim sucessivamente. Torna-se evidente que quanto menor for o número do *stratum*, maior a exatidão do seu relógio em relação ao UTC.

Um computador pode ser, simultaneamente, servidor e cliente. Se se situar no *stratum 2*, por exemplo, é cliente de um servidor no *stratum 1* e pode servir de servidor a um cliente no *stratum 3*. É também possível estar ligado simultaneamente a computadores de diferentes *strata*, escolhendo o NTP a melhor referência através de

algoritmos próprios [107]. Isto fornece redundância e significa que um servidor pode sofrer alterações no seu *stratum* conforme as condições da rede.

Através da troca de sucessivos pacotes com carimbos temporais entre cliente e servidor, e utilizando métodos estatísticos, o NTP recolhe informações sobre o desvio do relógio local relativamente ao relógio remoto e sobre o atraso entre o cliente e o servidor. Com esta informação, o NTP disciplina o relógio local de forma a este entrar em concordância com o relógio remoto, através de técnicas de Phase Loop Lock (PLL) e Frequency Loop Lock (FLL), implementadas em *software*. Para se perceber o funcionamento destas técnicas, atente-se ao seguinte: a fase pode ser proporcional ao tempo, por isso considera-se que uma diferença de fase é uma diferença de tempo; a frequência determina a velocidade com que o tempo passa.

Num sistema de PLL, a fase de um sinal de saída é relacionada com a fase de um sinal de entrada. Num relógio, podemos ajustar o tempo (sinal de saída) de acordo com o tempo de um relógio de referência (sinal de entrada).

Poderá também ser possível alterar, num relógio, a velocidade com que o tempo passa, de forma a este entrar em concordância (num determinado prazo) com o tempo reportado por um relógio de referência. Isto seria um sistema FLL. Em ambos os sistemas, a alteração da fase implica a alteração da frequência, e vice-versa. Nos sistemas PLL, o objetivo é minimizar diretamente o erro de fase e indiretamente minimizar o erro da frequência. Nos sistemas FLL, acontece o inverso.

Estas técnicas permitem corrigir o tempo de um relógio, compensar os erros intrínsecos de frequência e ajustar dinamicamente vários parâmetros, em resposta ao *jitter* da rede e à estabilidade da frequência do oscilador. É importante realçar que não é feita nenhuma alteração ao oscilador do relógio local: é usado um modelo de encapsulamento do *hardware* que permite que os ajustes da frequência e do desvio sejam feitos sempre que o algoritmo achar necessário [120].

Como simplificação grosseira, o NTP assume que a rota entre o cliente e o servidor é simétrica, de forma a estabelecer o atraso do servidor para o cliente e do cliente para o servidor, como sendo metade do tempo de ida e volta entre o cliente e o servidor. Isto introduz um erro, associado à frequente assimetria dos caminhos na Internet, que se situa em metade da diferença entre o atraso do cliente para o servidor e o atraso do servidor para o cliente.

Devido ao facto do algoritmo de sincronização temporal fazer correções ao relógio local baseadas na informação temporal enviada pelo servidor, bem como nos valores

de correção anteriores, esta é denominada como uma abordagem de *feedback* [121]. Na versão 4 do NTP, é usado um algoritmo de *feedback* híbrido, em que o resultado das técnicas de PLL e FLL é processado individualmente e combinado de acordo com o erro resultante de computações anteriores. Este algoritmo permite que a técnica de PLL tenha um peso superior quando a rede sofre, por exemplo, de congestão e provoca *jitter* nas comunicações entre o servidor e o cliente, e dá um peso maior à técnica de FLL quando o oscilador do relógio do cliente sofre variações acentuadas, resultantes, por exemplo, de alterações consideráveis na temperatura local [122].

Existe ainda um subprotocolo do NTP, denominado de Simple Network Time Protocol (SNTP). O seu princípio de funcionamento é o mesmo, mas destina-se à utilização em servidores primários que usam apenas uma referência temporal externa (como um recetor GPS) e a clientes que utilizam apenas um servidor como referência temporal e não servem de servidor para outros clientes. Como tal, o SNTP não necessita de implementar os algoritmos de mitigação de múltiplos servidores que se encontram presentes no NTP [123].

Existem vários estudos à volta do NTP e da forma como este poderá ser melhorado para obter melhores níveis de exatidão. Em [120] os autores estudam o comportamento do NTP e propõe uma solução baseada em *hardware* para eliminar as variações nos atrasos: os carimbos temporais são feitos na interface de rede e passados diretamente à aplicação (NTP). Isto reduz as variações nos atrasos causados por outros fatores, como por exemplo a gestão das interrupções pelo sistema operativo.

O autor de [124] analisa o comportamento do SNTP e através de métodos estatísticos e de filtragem, bem como da aplicação dos carimbos temporais na camada física (camada 1 da pilha OSI), sugere melhoramentos para este, de forma a poder atingir uma exatidão de 4 microsegundos.

4.2.2 PTP

O PTP é um protocolo desenvolvido pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), que tem como objetivo a sincronização temporal numa LAN. A primeira versão deste protocolo foi lançada em 2002 e a segunda versão (mais atual até ao momento) foi lançada em 2008. A sua utilização está direcionada para casos onde o nível de exatidão oferecido pelo NTP não é suficiente, e a utilização de referências externas de relógio (como o GPS) em todos os nós não é praticável - seja pelos custos ou pela logística inerente.

Este protocolo é baseado no modelo mestre/escravo (o mesmo que cliente/servidor, mas mestre/escravo é mais alusivo à nomenclatura utilizada no protocolo), onde existe uma hierarquia semelhante ao *strata* do NTP. O *Master* é a referência temporal, e o *Slave* sincroniza com o *Master*. Um *Grandmaster* é um *Master* que está sincronizado com uma fonte externa de relógio, como o GPS or CDMA. O *Master* distribui periodicamente mensagens (normalmente, em *multicast*) que o *Slave* utiliza para corrigir o seu relógio.

Para atingir os níveis de exatidão a que se propõe (de dezenas de nanosegundos a microsegundos), é necessária a utilização de equipamento de rede específico, que suporte o protocolo PTP. Além do *Master* e do *Slave*, é também possível ter *Boundary Clocks*, que consistem em *switches* ou *routers* que interligam várias sub-redes, e permitem corrigir os atrasos normalmente introduzidos por este tipo de equipamentos, através da implementação do PTP.

Todos os dispositivos que participam numa rede PTP possuem uma lista de atributos com a natureza, qualidade, estabilidade, identificador único e preferência do seu relógio local. Assim que um dispositivo se junta à rede, distribui esta lista por todos os dispositivos e recebe a lista dos outros dispositivos. De seguida, todos os dispositivos executam um algoritmo chamado de Best Master Clock (BMC) que permite definir qual o dispositivo que possui o melhor relógio que servirá de referência aos outros dispositivos.

O funcionamento deste protocolo é análogo ao NTP (o PTP também assume simetria na rota entre *Master* e *Slave*), e pode ser utilizado em paralelo com o mesmo. Como dispõe de um suporte em *hardware* que melhora a precisão dos carimbos temporais, não precisa de utilizar algoritmos tão complexos como aqueles usados no NTP para sincronizar os relógios com uma alta exatidão. Tal como o NTP, o PTP utiliza também uma abordagem de *feedback*, em que as correções aplicadas ao relógio do *Slave* são depois usadas em conjunto com a informação temporal enviada pelo *Master* para fazer novos ajustes ao relógio do *Slave*.

Existem implementações deste protocolo em *software* e *hardware*, sendo que os níveis de exatidão normalmente associados a este protocolo pressupõe implementações em *hardware*. No entanto, como referido pelos autores de [121], existe um interesse crescente nas implementações em *software* (como o PTPd [125], `Openptp` [126] e `Domain Time II` [127]), motivado por questões de custo ou pelo desejo de permitir que certos clientes possam tirar imediatamente partido dos dispositivos com suporte PTP já

existentes na rede.

Além das soluções autônomas existentes (por exemplo: SyncPoint PCIe-1000 [128], OTMC 100 [129] e TCG O2-E [130]), existe uma panóplia de fornecedores de equipamentos de rede que já inclui nos seus produtos suporte para este protocolo: Cisco, Juniper, IBM, Brocade, Alcatel-Lucent, Siemens, entre outros. Uma lista mais detalhada está disponível em [131].

4.2.3 RADclock

O RADclock é um protocolo que oferece, além de um relógio absoluto que pode ser usado para a sincronização temporal, um relógio diferencial, que permite medir com precisão o tempo decorrido entre dois eventos. No RADclock, os carimbos temporais são feitos ao nível do *kernel*, utilizando os valores brutos dos contadores presentes no *hardware*, diminuindo assim uma fonte de erros não determinísticos.

Ao contrário do NTP e do PTP, o RADclock utiliza uma abordagem de *feed-forward*, em que as correções do relógio local são apenas baseadas na filtragem e no processamento da informação temporal recebida de um servidor (normalmente um servidor NTP *stratum* 1) e nos valores brutos dos contadores. Estas correções não são aplicadas diretamente ao relógio local, sendo apenas usadas quando é necessário imprimir um carimbo temporal, limitando assim o impacto de ajustes frequentes na frequência do relógio.

Atualmente, não existe suporte no *kernel* do Linux ou do FreeBSD para este mecanismo de *feed-forward*, tendo os autores do RADclock desenvolvido modificações ao *kernel* de forma a possibilitar o acesso direto aos valores brutos dos contadores para utilizar estes como fontes de sincronismo temporal [132].

Em [133–135] os autores fazem uma análise extensa ao funcionamento do protocolo. Em [136] desenvolvem uma metodologia para aferir o comportamento de vários relógios, e em [121] usam essa metodologia para comparar o RADclock com o NTP e o PTP. A conclusão dos autores é de que o RADclock é um protocolo mais robusto e mais estável, não sofrendo um impacto tão grande na sincronização temporal como os outros protocolos quando perdem a comunicação com o servidor que serve de referência. Esta estabilidade por parte do RADclock é atribuída à utilização da abordagem de *feed-forward*.

Avanços recentes permitem agora ao RADclock tirar partido de dispositivos que suportem o PTP, como os dispositivos *Master* e placas de rede com carimbos tem-

porais feitos ao nível do *hardware*. Em [137], os autores comparam uma primeira implementação deste suporte com outras soluções já existentes e comprovam que a abordagem de *feed-forward* mantém os seus benefícios quando transportada de um ambiente em que a referência temporal é um servidor NTP para um ambiente em que a referência temporal é baseada em PTP. Os autores também concluem que a robustez do RADclock é superior à encontrada em clientes PTP, mesmo quando são usados carimbos temporais ao nível do *hardware*.

4.3 Conclusão

Neste capítulo apresenta-se uma visão global sobre os métodos atualmente disponíveis para efetuar a sincronização temporal entre dispositivos e conclui-se que existem mecanismos que permitem reduzir ou, em alguns casos, eliminar a variabilidade dos atrasos que estão presentes nos vários métodos de sincronização temporal.

Em [138], é feita uma sondagem dos atrasos existentes nas diferentes técnicas de software mais utilizadas para a atribuição de carimbos temporais. Apesar da obtenção de bons resultados, os autores colocam dúvidas sobre a reprodutibilidade dos mesmos noutras plataformas (apenas foi usado **FreeBSD**) e constatam que, ainda assim, continuam a existir barreiras à obtenção, numa LAN, de uma precisão de 1 microsegundo, usando apenas a sincronização temporal de relógios baseados em *software*.

Quando se lida com medições que exigem uma precisão ao nível do nanosegundo ou do microsegundo, não se podem ignorar os fatores de atraso presentes nos métodos de sincronização temporal através de uma rede de pacotes. É um facto que a sincronização temporal absoluta sobre uma rede de pacotes é impossível: existem atrasos não determinísticos que irão sempre influenciar a sincronização. O importante é estar consciente destas limitações e utilizar os métodos que melhor se adequam ao nível de exatidão que pretendemos obter com a sincronização e que são, ao mesmo tempo, economicamente eficientes.

Em muitas situações, não existe interesse em sincronizar um relógio com uma incerteza inferior a dezenas de microsegundos, visto que a maior parte das aplicações não poderia tirar partido dessa maior exatidão, devido aos atrasos existentes dentro do sistema operativo (em [108], os autores medem estes atrasos e situam-nos na ordem

dos 85~150 microsegundos). Uma exatidão fiável na ordem dos microsegundos requer *hardware* com um propósito específico, que geralmente inclui uma relação explícita entre o *hardware* que produz um evento e o relógio que gera o carimbo temporal associado a esse evento [139].

No levantamento de plataformas de metrologia em rede feito em [140], os autores analisam os métodos aqui apresentados e constataam que a maioria das soluções existentes, ou são precisas e eficientes, mas caras e não escaláveis, ou são imprecisas e com fraco desempenho, mas de fácil implementação. Assim, concluem, projetar uma infraestrutura para permitir a medição da qualidade de serviço de uma rede, que seja precisa, pouco dispendiosa e fácil de implementar, utilizando as soluções atualmente existentes, permanece um desafio.

Vale a pena referir também a existência de soluções proprietárias para a sincronização temporal. Como já referido no capítulo 3.4, o QTP utiliza uma solução em *hardware* para efetuar os carimbos temporais, juntamente com algoritmos baseados no NTP. Foi também encontrada referência ao Network Time System (NTS) [141] da Softros, com indicação de que esta solução de *software* permite a sincronização temporal em redes de todas as dimensões, é compatível com o NTP e SNTP, usa o modelo cliente/servidor e está disponível para plataformas Windows. Infelizmente, não foi possível obter mais informação sobre estes protocolos, visto os mesmos serem proprietários.

No contexto desta dissertação, a utilização do NTP é a mais indicada, principalmente pela compatibilidade com a ferramenta de medição de *one-way delay* utilizada (OWAMP) e pela eficácia já demonstrada. A utilização do PTP só se justificaria se fosse possível adquirir *hardware* específico e conduzir testes para verificar a compatibilidade com o OWAMP. O RADclock, embora aparente ser bastante promissor em relação ao NTP ao nível da estabilidade do algoritmo, necessita de alterações ao *kernel* do sistema operativo. Além de ser necessário comprovar a compatibilidade com o OWAMP, essas alterações ao *kernel* poderiam quebrar a compatibilidade com futuras atualizações do OWAMP.

Capítulo 5

Arquitetura

Para a definição de uma arquitetura de medição de parâmetros de QoS, consideraram-se duas premissas: a topologia da rede e a solução atualmente em utilização, ambas referidas na secção 3.1.

As várias instituições servidas pela RCTS encontram-se, na sua maioria, ligadas diretamente a dois nós principais: Lisboa e Porto. Assim sendo, justifica-se a realização de medições entre os nós principais e a periferia da rede para avaliar o estado das ligações. Esta é também a filosofia empregue pela solução atual, onde as sondas periféricas fazem medições com as sondas de Lisboa e Porto para aferir os parâmetros de QoS das ligações.

5.1 Métricas de qualidade de serviço

Para avaliar a qualidade de serviço das ligações da RCTS, a FCCN utiliza a solução proprietária da QoSMetrics para calcular algumas métricas, incluídas também num relatório mensal disponibilizado às instituições ligadas à RCTS. Estas métricas, escolhidas de acordo com as métricas definidas pelo IPPM, são:

- *one-way delay* mínimo, médio e máximo
- *jitter* mínimo, médio e máximo
- pacotes enviados, recebidos, perdidos e duplicados

Estas métricas são sempre calculadas para os dois sentidos da ligação. É do interesse da FCCN, com a adoção de uma nova solução baseada no perfSONAR, conseguir calcular estas métricas (tanto em IPv4, como em IPv6) e manter a compatibilidade

com o sistema automático de produção de relatórios que está em operação [83], baseado em Cacti [142] e HP Openview Service Desk (entretanto descontinuado pela HP).

5.2 perfSONAR

O perfSONAR é uma *framework* de monitorização desenhada para ambientes de monitorização multi-domínio, que permite a descoberta, cálculo, armazenamento e distribuição de métricas de medição de QoS. O seu desenvolvimento surge de um esforço internacional de cooperação entre várias entidades, nomeadamente a GÉANT, ESnet [143], Internet2 e RNP [144].

O objetivo do perfSONAR é diminuir as restrições administrativas existentes no acesso aos dados das medições entre vários domínios, facilitar a resolução de problemas de desempenho fim-a-fim em caminhos de rede que atravessam vários domínios, facilitar a gestão de redes e permitir às aplicações adaptar o seu comportamento ao estado da rede. O desenvolvimento do perfSONAR é da responsabilidade de um consórcio de organizações que procura desenvolver um *middleware* que seja interoperável entre várias redes e permita uma análise do desempenho intra e inter redes, e é constituído por:

- Um protocolo, que assume diferentes tipos de serviços e define uma sintaxe e semântica padrão através dos quais eles comunicam, e permite diferentes implementações de um serviço. Este protocolo é baseado em mensagens Simple Object Access Protocol (SOAP) Extensible Markup Language (XML) e foi desenvolvido pelo Open Grid Forum (OGF) Network Measurement Working Group (NM-WG) [145].
- Várias ferramentas (implementações em *software* dos vários serviços), desenvolvidas por diversos parceiros, que tentam implementar uma *framework* interoperável de monitorização de desempenho.

Do ponto de vista de um utilizador, o perfSONAR pode ser considerado como um grupo de serviços distribuídos, que oferece várias funcionalidades que fazem parte de um sistema completo de monitorização inter-domínio. Alguns exemplos dessas funcionalidades são: armazenamento de informação da rede e resultados de medições, medições ativas, medições passivas, autenticação, autorização, diretório de serviços e visualização de informação. A arquitetura do perfSONAR é apresentada na figura 5.1.

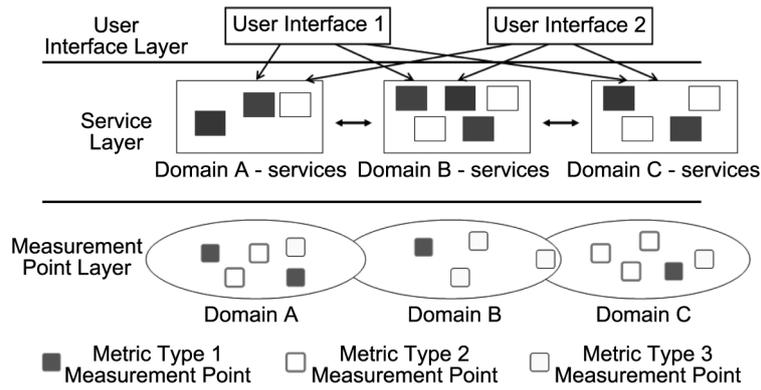


Figura 5.1: Arquitetura de 3 camadas do perfSONAR [71]

Os serviços distribuídos podem correr em múltiplos domínios e comunicar através de um protocolo padrão, assegurando a distribuição eficaz e segura da informação. Os serviços do perfSONAR trocam mensagens, não só para descrever os dados das medições, mas também para trocar essa informação entre serviços. Estas mensagens SOAP são transportadas através de Hypertext Transfer Protocol (HTTP). A cadeia de protocolos utilizada na troca de mensagens está representada na figura 5.2.

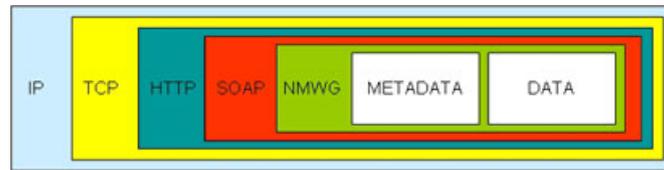


Figura 5.2: Encapsulamento das mensagens perfSONAR [71]

5.2.1 Componentes

O perfSONAR, de natureza *open-source* e com uma arquitetura modular, permite aos administradores da rede implementar, combinar e personalizar várias ferramentas de acordo com as suas necessidades individuais. Para facilitar a integração das ferramentas, o perfSONAR oferece serviços individuais, responsáveis por funcionalidades específicas, como a recolha de dados e a visualização dos mesmos [146].

Pontos de medição

Os pontos de medição (ou Measurement Point (MP)) recolhem e publicam a informação obtida através das ferramentas de medição. As medições são geralmente efetuadas localmente, a pedido de um cliente ou automaticamente, com intervalos programados. É também no ponto de medição que é feita a conversão entre o formato de dados que a ferramenta de medição disponibiliza e o formato de dados do perfSONAR.

Arquivos de medição

Os arquivos de medição (ou Measurement Archive (MA)) armazenam o resultado das medições numa base de dados (SQL, por exemplo) ou num sistema de ficheiros (ficheiros RRD, por exemplo). Estes dados podem depois ser lidos pelos clientes e processados ou visualizados. Os arquivos de medição também suportam a agregação de dados.

Serviços de pesquisa

Cada domínio que implementa o perfSONAR deve possuir um serviço de pesquisa (ou Lookup Service (LS)). Todos os serviços disponibilizados dentro de um domínio devem ser registados no serviço de pesquisa, permitindo que os serviços de pesquisa de diferentes domínios possam comunicar entre eles e partilhar informação sobre o tipo de serviços que estão disponíveis em cada domínio. Assim, um utilizador apenas precisa de saber o Uniform Resource Locator (URL) do serviço de pesquisa para saber que tipo de serviços é disponibilizado por um dado domínio.

Ferramentas de visualização

As ferramentas de visualização permitem recolher os dados armazenados nos arquivos de medição e tratar a informação recolhida para a apresentar ao utilizador. O carácter *open-source* destas ferramentas permite adaptar a apresentação dos dados à necessidade de grupos específicos de utilizadores.

5.2.2 Implementações

Existem atualmente duas implementações principais que se comprometeram a interoperar: perfSONAR Multi-Domain Monitoring (perfSONAR MDM) [147], desenvolvida pelo GÉANT, e perfSONAR Perl Services (perfSONAR-PS) [148], desenvolvida

pela Internet2 e ESnet. Ambas utilizam o protocolo aberto desenvolvido pelo OGF para trocar dados, são baseadas em serviços *web* e partilham os mesmos propósitos: flexibilidade, escalabilidade, abertura e descentralização. Diferem no processo de desenvolvimento, no ciclo de vida dos produtos, na interação com os seus utilizadores e no modelo de implementação e distribuição.

O `perfSONAR MDM` foi desenvolvido como um sistema de monitorização multi-domínio, pensado para servir os parceiros do GÉANT, destinado a fornecer um serviço federado, centralmente monitorizado e coordenado, com suporte total do GÉANT. Os serviços disponibilizados por esta implementação foram desenvolvidos tendo em conta as necessidades e os requisitos especificados pelos engenheiros que compõem as equipas Performance Enhancement Response Team (`PERT`) e Network Operations Center (`NOC`). A linguagem de programação escolhida para esta implementação foi o Java [149] e existem pacotes disponíveis para `RHEL 5` (e `CentOS 5`) e `Debian 6`.

Em maio de 2013, cerca de 15 `NREN` pertencentes ao GÉANT eram apontadas como utilizadoras do `perfSONAR MDM` [150].

O `perfSONAR-PS` foi desenvolvido com o propósito de otimizar o processo de resolução de problemas nas redes de universidades, laboratórios de investigação e fornecedores de redes de acesso. Tem um modelo de suporte distribuído, com o objetivo de proliferar o número de nós disponíveis na comunidade.

Para aliviar o trabalho associado ao processo de instalação e configuração, o `perfSONAR-PS` disponibiliza um LiveCD (e, mais recentemente, LiveUSB), que contém uma distribuição `CentOS 5.8` com um conjunto de ferramentas pré-instaladas, designado por `pS Performance Toolkit` [151]. Os administradores de rede interessados apenas têm de inicializar uma máquina a partir desta ferramenta e responder a algumas perguntas de configuração para terem uma máquina capaz de fazer medições completamente operacional.

Além desta opção, também é disponibilizada uma versão deste *software* passível de ser instalada no disco rígido de uma máquina. Esta versão também contém o sistema operativo e as ferramentas anteriormente referidas, e é passível de ser atualizada a partir do sistema `yum` [152], facilitando o trabalho de uma posterior personalização da instalação (acrescentando outras ferramentas, por exemplo). A linguagem de programação escolhida para esta implementação foi o Perl [153].

Ambas as implementações disponibilizam um Graphical User Interface (`GUI`) de

configuração e visualização dos resultados das medições baseado numa interface *web*. O `perfSONAR` MDM disponibiliza ainda um cliente baseado em Java para aceder aos dados das medições, designado por `perfSONAR-UI` [154].

De entre os utilizadores conhecidos destas duas implementações, destacam-se os membros das redes Large Hadron Collider (LHC) Optical Private Network (OPN) [155] e LHC Open Network Environment (ONE) [156].

Existe ainda uma terceira implementação, denominada de `perfSONAR-NC` [157], desenvolvida pela UNINETT. Esta implementação pretende colmatar alguns problemas encontrados nas implementações anteriormente referidas, nomeadamente a ausência de um modelo de dados comum para cada um dos serviços disponíveis (como os pontos de medição, ou os arquivos de medição). Isto obriga a implementar ou a alterar um cliente para consultar um arquivo de medição de cada vez que é adicionada uma nova métrica a um arquivo de medição existente, ou sempre que é criado um novo arquivo de medição [158].

O `perfSONAR-NC` dispõe-se assim a desenvolver uma nova e melhorada versão do `perfSONAR`, com bom desempenho e escalabilidade e modelos de dados comuns para os vários serviços. Para isso, utiliza o protocolo de transporte `NETCONF` [159], definido pelo IETF, e a linguagem de modelação `YANG` [160] para definir modelos formais de dados para cada um dos serviços. A linguagem de programação escolhida foi o PHP: Hypertext Preprocessor (PHP) [161].

Na altura da elaboração desta dissertação, o projeto `perfSONAR-NC` apenas disponibilizava algumas versões de arquivos de medição, não possuindo uma *framework* completa, como a que é oferecida tanto pelo `perfSONAR` MDM como pelo `perfSONAR-PS`.

Em [162] é feita uma comparação mais detalhada entre o `perfSONAR` MDM e o `perfSONAR-PS`, e em [158] é apresentada uma descrição mais pormenorizada do `perfSONAR-NC`.

5.2.3 Ferramentas de medição

As implementações do `perfSONAR` incluem uma gama de ferramentas que permitem fazer medições e monitorização ao nível da camada IP e acima, desde ferramentas de medição do atraso e da largura de banda disponível até ferramentas que permitem fazer medições passivas.

Medição da taxa de transferência

A medição da taxa de transferência é feita recorrendo ao Bandwidth Controller (BWCTL) [163] no caso do perfSONAR-PS e ao BWCTL MP, um ponto de medição baseado no BWCTL, no caso do perfSONAR MDM. O BWCTL é um encapsulador de ferramentas já conhecidas, como o *iperf*, *thrulay* ou o *nuttcp*.

Um cliente BWCTL pode especificar os parâmetros da medição e do fluxo de dados para a determinação da largura de banda atual, tal como o tamanho da janela para o TCP, o tamanho do *buffer* para o UDP ou o protocolo (IPv4 ou IPv6), permitindo assim efetuar uma análise eficaz em diferentes configurações da rede. Estes parâmetros são comunicados pelo cliente aos servidores BWCTL presentes nos sistemas terminais entre os quais se deseja efetuar a medição, os quais são responsáveis por implementar políticas de acesso e de agendamento dos testes. Na figura 5.3 pode-se observar a arquitetura deste processo.

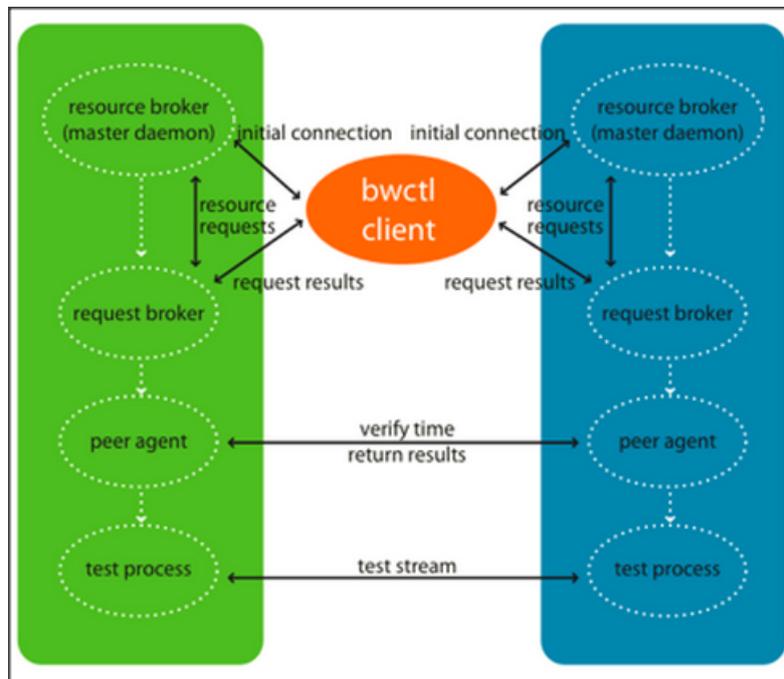


Figura 5.3: Arquitetura do BWCTL [164]

Medição do atraso

As medições do atraso baseiam-se no Hades Active Delay Evaluation System (HADES) [146] para o perfSONAR MDM e no OWAMP para o perfSONAR-PS.

O HADES foi desenvolvido pela WiN-Labor [165] no RRZE (Regional Computing Centre Erlangen) [166], e o seu objetivo é efetuar medições de QoS, baseadas nas métricas desenvolvidas pelo IETF IPPM. Esta ferramenta permite obter informações sobre o *one-way delay* [167], *delay jitter* [171], *packet loss rate* [172] e rotas alternativas.

O OWAMP é uma ferramenta desenvolvida pela Internet2, que implementa o protocolo do mesmo nome, previamente referido na secção 2.1. Esta ferramenta é usada para determinar o *one-way delay* entre dois pontos da rede. O controlo das sessões de medição é feito utilizando a comunicação entre cliente-servidor, através do protocolo OWAMP-Control, onde ambos os sistemas envolvidos nas medições negociam os parâmetros dos testes, tal como o número de pacotes a enviar e o tamanho destes. Depois, são criados processos adicionais em ambos os sistemas para enviar e receber os pacotes, definindo claramente o papel de emissor e recetor entre os sistemas. Na figura 5.4 pode-se observar a arquitetura deste processo.

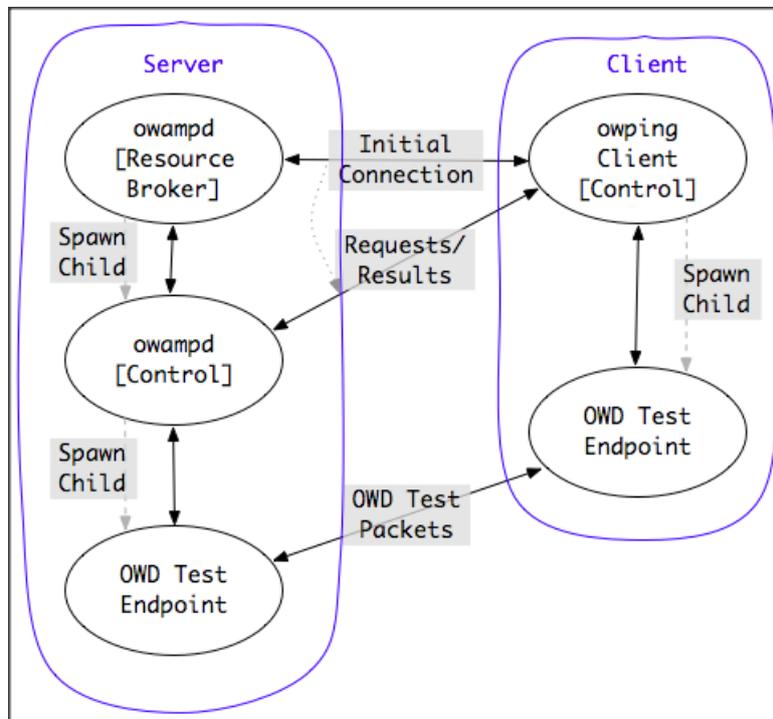


Figura 5.4: Arquitetura do OWAMP [173]

Medições passivas

Ferramentas do perfSONAR baseadas na monitorização passiva da rede foram recentemente desenvolvidas (PacketLoss) ou encontram-se em desenvolvimento (ABW2)

[146]. Alguns parâmetros e características da rede apenas podem ser obtidos recorrendo a medições passivas, que não influenciam o tráfego da rede, como referido na secção 2.2.

5.3 Instalação do perfSONAR - testes e resultados

O primeiro passo para instalar e começar a usar o perfSONAR, é escolher uma das implementações que existem atualmente. De acordo com o *feedback* existente por parte da FCCN, e após algumas tentativas de instalação e utilização do perfSONAR MDM, optou-se pelo perfSONAR-PS, versão 3.2.2. Esta escolha é sustentada pela pobre experiência da FCCN com a equipa de suporte e com os problemas encontrados durante a fase de instalação do perfSONAR MDM.

Numa primeira fase, usou-se a versão LiveCD do perfSONAR-PS para conhecer melhor o *software*. Na figura 5.5 é apresentado o GUI deste.

The screenshot displays the perfSONAR-PS web interface. On the left is a navigation menu with sections: User Tools (Local Performance Services, Global Performance Services, Java OWAMP Client, Reverse Traceroute, Reverse Ping), Service Graphs (Throughput, One-Way Latency, Ping Latency, SNMP Utilization, Cacti Graphs), and Toolkit Administration (Administrative Information, External BWCTL Limits, External OWAMP Limits, Enabled Services, NTP, Scheduled Tests, Cacti SNMP Monitoring, perfSONAR Logs). The main content area is titled 'pS-Performance Node For FCCN In FCCN Lx Datacenter' and contains several panels:

- Host Information:** Organization Name: FCCN; Host Location: FCCN Lx Datacenter; Administrator Name: Pedro Queiros; Administrator Email: a39845@alunos.uminho.pt
- Communities This Host Participates In:** (Empty list)
- Host Status:** Primary Address: [redacted]; MTU: 1500; NTP Status: Synced; Globally registered: No
- Services Offered:**
 - Bandwidth Test Controller (BWCTL):** Disabled
 - tcp://[redacted].fccn.pt:4823
 - tcp://[2001:[redacted]]:4823
 - Lookup Service:** Disabled
 - http://[redacted].fccn.pt:9995/perfSONAR_PS/services/hLS
 - http://[2001:[redacted]]:9995/perfSONAR_PS/services/hLS
 - Network Diagnostic Tester (NDT):** Running
 - tcp://[redacted].fccn.pt:3001
 - http://[redacted].fccn.pt:7123

Figura 5.5: Demonstração do GUI do perfSONAR-PS

Depois desta fase, procedeu-se à instalação da versão *netinstall*, que permite, através de mecanismos de *kickstart*, instalar fácil e rapidamente o **perfSONAR-PS** numa máquina física. Após a instalação, efetuou-se uma configuração mínima para ter uma sonda ativa e pronta a fazer medições. Neste capítulo, a palavra *sonda* refere-se a uma máquina física com o *software* **perfSONAR-PS** instalado.

5.3.1 Primeiros testes

Para construir o ambiente de testes inicial, reutilizou-se uma máquina com o *hardware* apresentado no capítulo 3, instalada no *datacenter* do Departamento de Sistemas de Informação (DSI) da Universidade do Minho, no pólo de Azurém - Guimarães. Foi utilizado um disco IDE em detrimento do cartão CF, pelas razões já discutidas no capítulo referido. Com a ajuda da FCCN, foi também instalada uma instância do **perfSONAR-PS** numa máquina presente no *datacenter* da FCCN, em Lisboa, ligada à rede RCTS.

Os testes iniciais foram configurados na sonda de Azurém, através da interface *web* do **perfSONAR-PS**. Apesar das medições de *one-way delay* serem automaticamente realizadas nos dois sentidos da ligação, os resultados são armazenados na base de dados da sonda onde as medições são configuradas. O utilizador pode depois consultar os resultados das medições em forma de um gráfico, como é apresentado na figura 5.6.

A ferramenta utilizada pelo **perfSONAR-PS** para determinar as métricas referidas na secção 5.1, o OWAMP, requer que os pontos entre os quais são feitas as medições estejam corretamente sincronizados com o NTP. Isto é necessário para assegurar que os relógios das máquinas envolvidas nas medições estejam sincronizados, de forma a reduzir o erro dos carimbos temporais atribuídos aos pacotes de medição.

Para configurar o NTP, os autores do OWAMP sugerem que sejam configurados como referências temporais pelo menos quatro servidores. Contrariamente, em [44], os autores sugerem que, para manter a estabilidade do NTP, se deve configurar apenas um servidor (próximo e de baixo *stratum*) como referência temporal. Quando se utiliza apenas um servidor como referência, a variação destes parâmetros torna-se menor, mas em caso de falha desta única referência, o comportamento do NTP irá variar drasticamente [44] [174], produzindo carimbos temporais com flutuações acentuadas que irão interferir nas medições do *one-way delay*.

A FCCN possui quatro servidores NTP *stratum* 1 localizados em Aveiro, Coimbra,

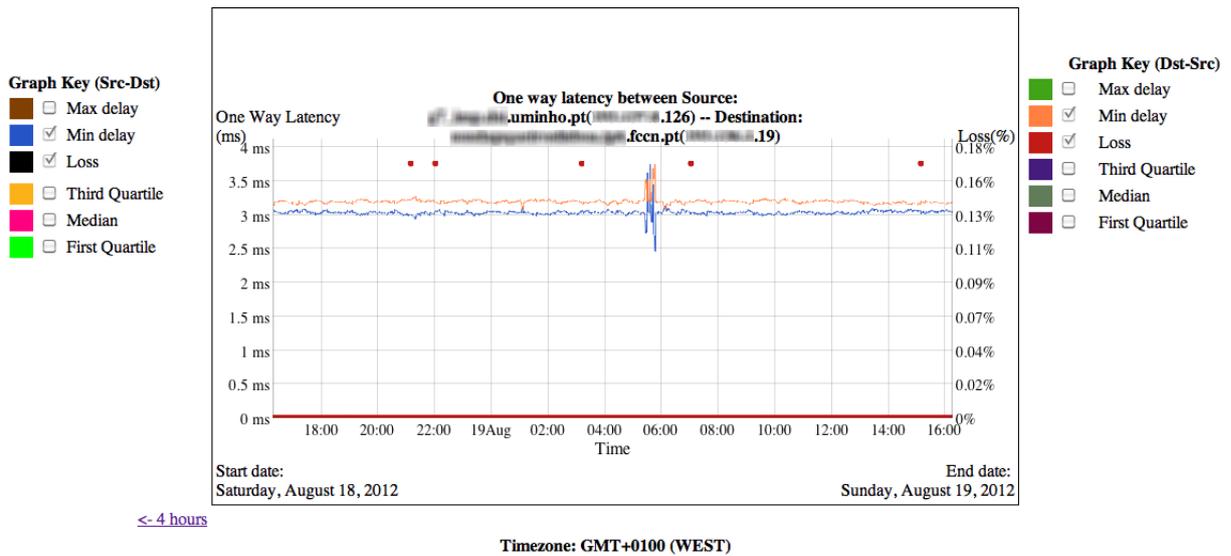


Figura 5.6: Exemplo de um gráfico com o resultado de um teste de One-Way Delay (OWD)

Porto e Lisboa. Estes servidores foram utilizados no ambiente de teste, tendo sido preferidos os do Porto e de Lisboa, devido à distância dos mesmos às sondas de teste. Na sonda localizada em Azurém foi configurado o servidor NTP do Porto como referência, e na sonda de Lisboa, o servidor NTP de Lisboa.

As medições iniciais foram configuradas com os valores por omissão, em que são enviados 10 pacotes por segundo, de 20 bytes cada, durante um minuto (uma sessão). O perfSONAR-PS trata depois de correr os testes continuamente, “concatenando” as sessões.

Os testes apresentavam valores mínimos de atraso próximos daqueles obtidos com a solução proprietária da QoSMetrics, mas valores máximos com picos de dezenas e centenas de milissegundos. Mesmo os valores mínimos continham algumas flutuações, e ocasionalmente alguns picos. Estes resultados eram semelhantes nas duas direções, e estão demonstrados nas figuras 5.7 e 5.8.

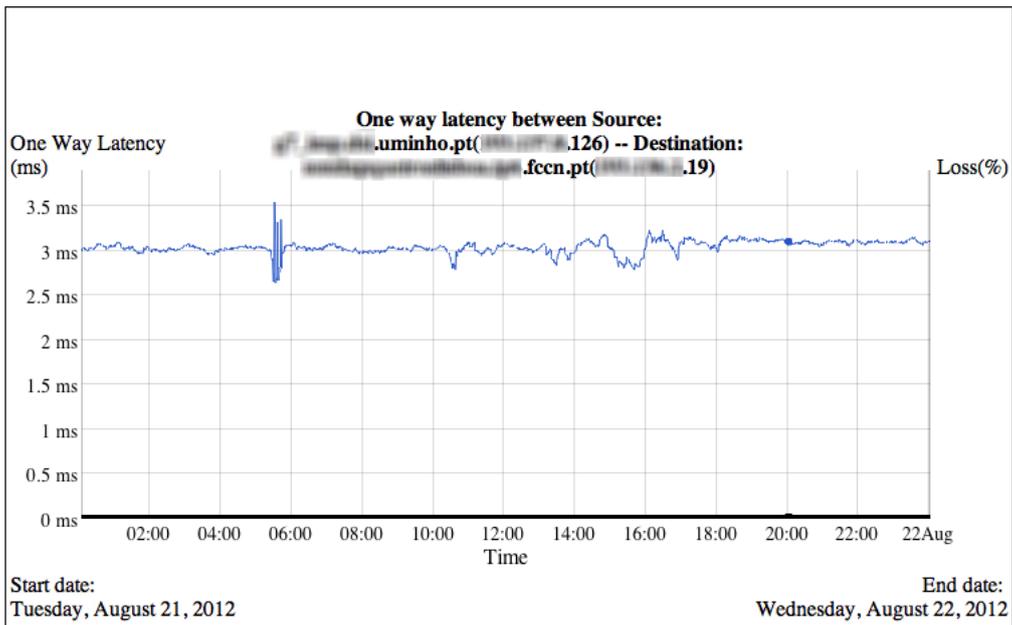


Figura 5.7: Gráfico com os resultados mínimos de um teste de OWD

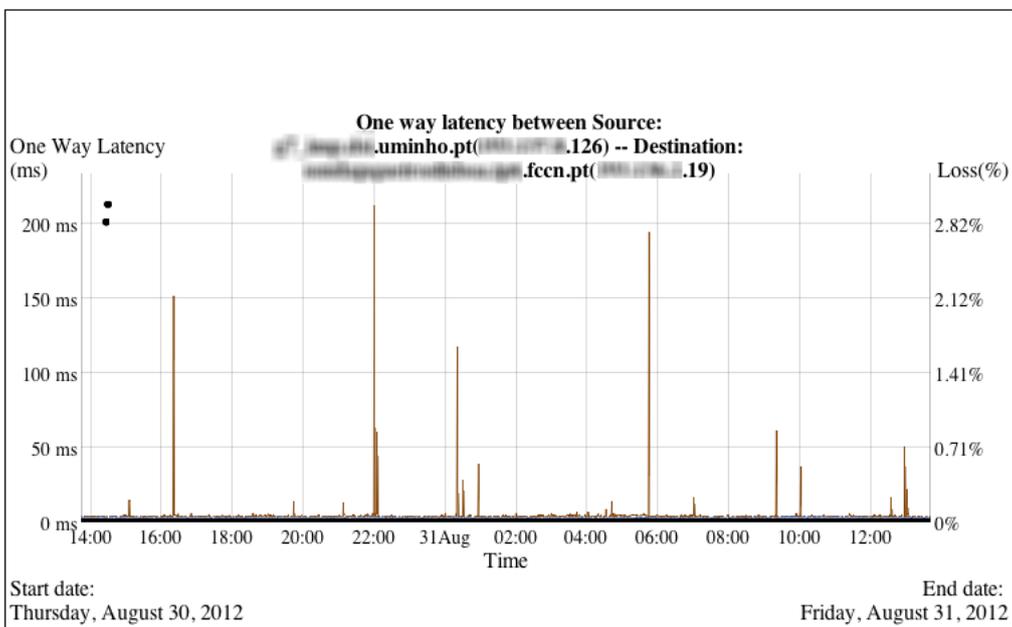


Figura 5.8: Gráfico com os resultados máximos de um teste de OWD

Algumas das flutuações existentes nas medições eram derivadas da alteração da temperatura ambiente da sonda de Azurém. Como referido no capítulo 4, as alterações da temperatura ambiente influenciam as propriedades do cristal do relógio presente na máquina, criando variações na frequência deste. Nas figuras 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 pode-se ver um exemplo de como a alteração da temperatura ambiente por volta das 10:00 influenciou diretamente o NTP e, conseqüentemente, as medições do OWAMP. Estes dados podem ser obtidos diretamente a partir dos *logs* do *ntpd* e foram processados com a ferramenta *Munin* [176].

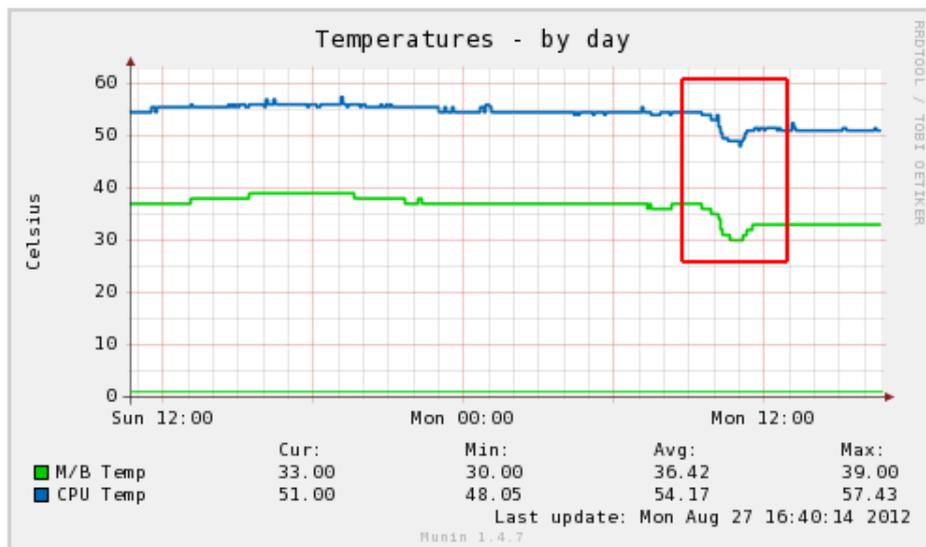


Figura 5.9: Amostra da temperatura da sonda de Azurém

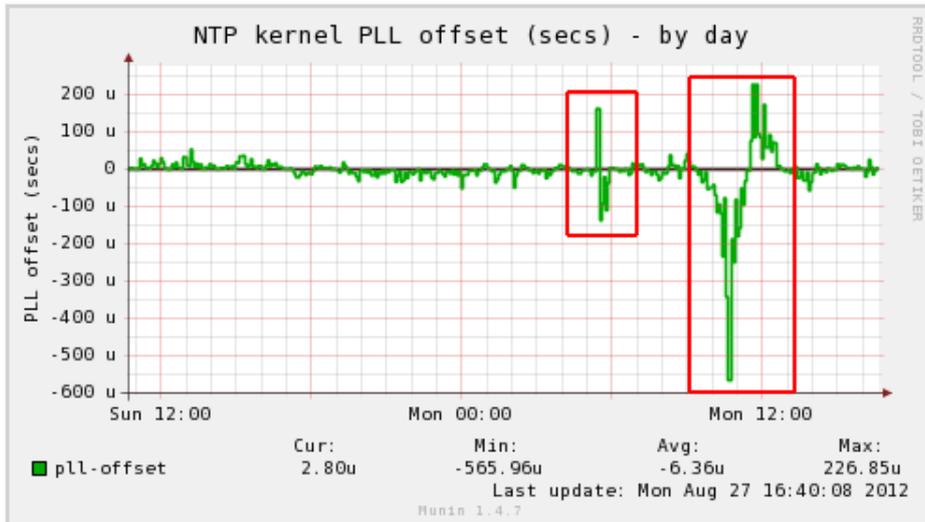


Figura 5.10: Amostra do *offset* do NTP da sonda de Azurém

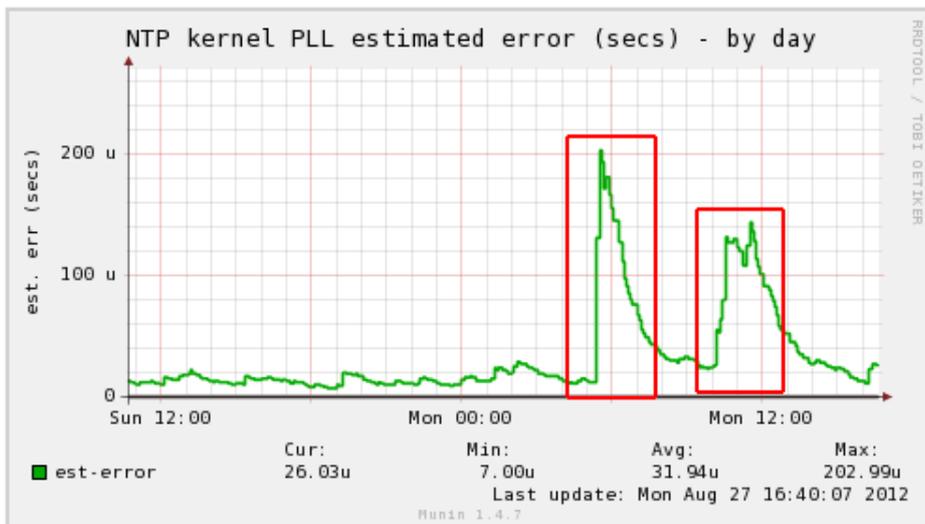


Figura 5.11: Amostra do erro estimado do NTP na sonda de Azurém

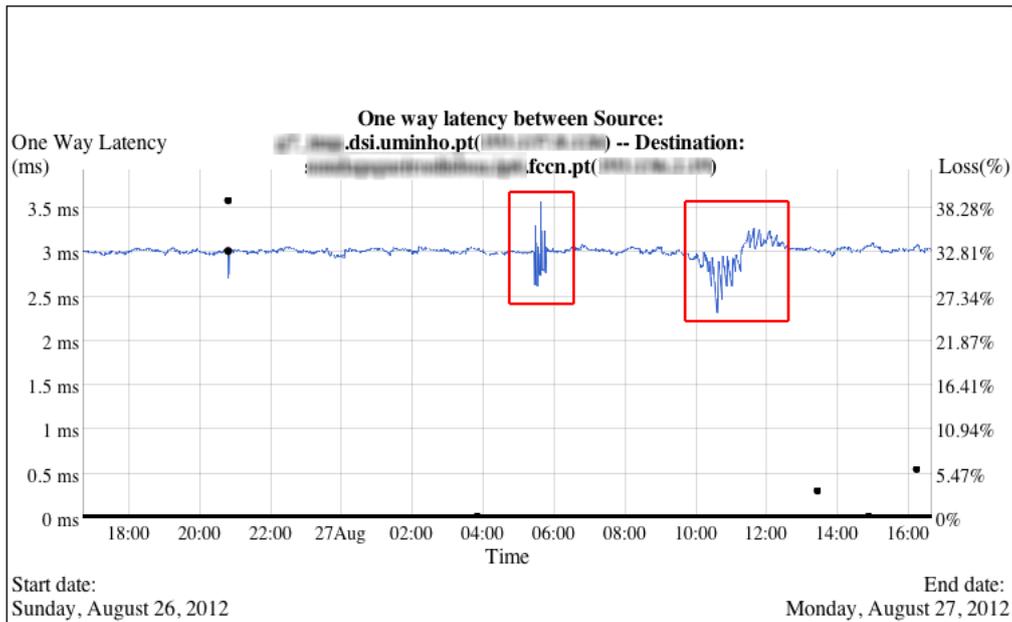


Figura 5.12: Amostra do OWD mínimo entre a sonda de Azurém e Lisboa

O *offset* do NTP representa a diferença de fase (como explicado na secção 4.2.1) com o relógio de referência. O erro estimado estabelece o erro esperado (em microssegundos) do tempo indicado pelo relógio em relação ao relógio de referência; é a melhor estimativa, calculada com base no comportamento anterior do relógio e com observações dos relógios configurados como possível referência [175]. Neste caso, como descrito anteriormente, só é configurado um relógio a usar como referência.

Na figura 5.12 podem também ser vistas flutuações (que se mostraram diárias) nas medições, entre as 05:00 e as 06:00, que estavam diretamente ligadas a uma alteração no atraso (*delay*) e na variação do atraso (*jitter*) entre a sonda de Azurém e o servidor NTP do Porto. Na figura 5.13 apresentam-se essas alterações.

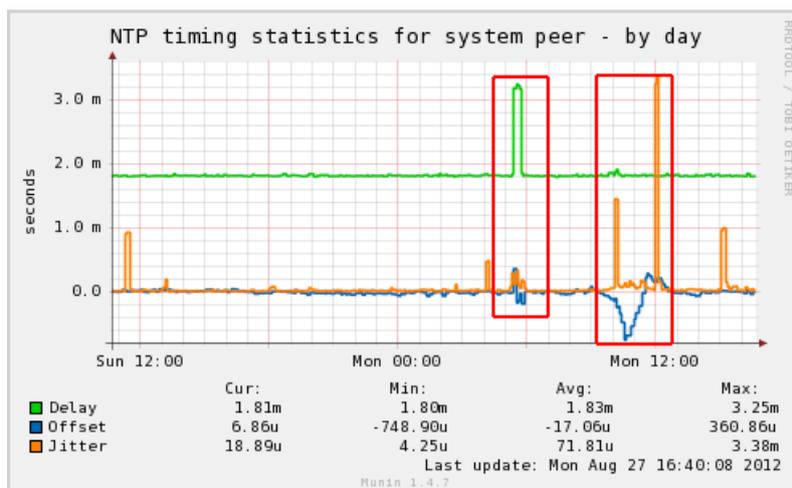


Figura 5.13: Amostra das estatísticas do NTP da sonda de Azurém

5.3.2 Alterações no ambiente de testes

Seguindo as recomendações apresentadas na conclusão do capítulo 3, dotou-se a sonda de Azurém de um disco SSD e mais 512 Mbytes de RAM, e, com a colaboração dos Serviços de Comunicações (SCOM) da Universidade do Minho, a sonda foi realocada no seu *datacenter* do pólo de Gualtar, ligada à rede RCTS. Com este ambiente de teste, foi possível efetuar testes na rede RCTS entre Braga e Lisboa, mimetizando, em parte, a configuração da solução proprietária atualmente existente e em utilização pela FCCN para medição dos parâmetros de QoS na rede da RCTS.

Os testes de *one-way delay* foram agora configurados de forma a que fosse enviado um pacote de 1500 bytes a cada segundo, de acordo com o Service-level Agreement (SLA) da FCCN.

Com esta alteração no ambiente de teste, as medições passaram a mostrar valores mínimos de *one-way delay* mais estáveis, como se pode ver na figura 5.14. No entanto, os valores máximos continuaram a apresentar picos de várias dezenas de milissegundos, representados na figura 5.15.

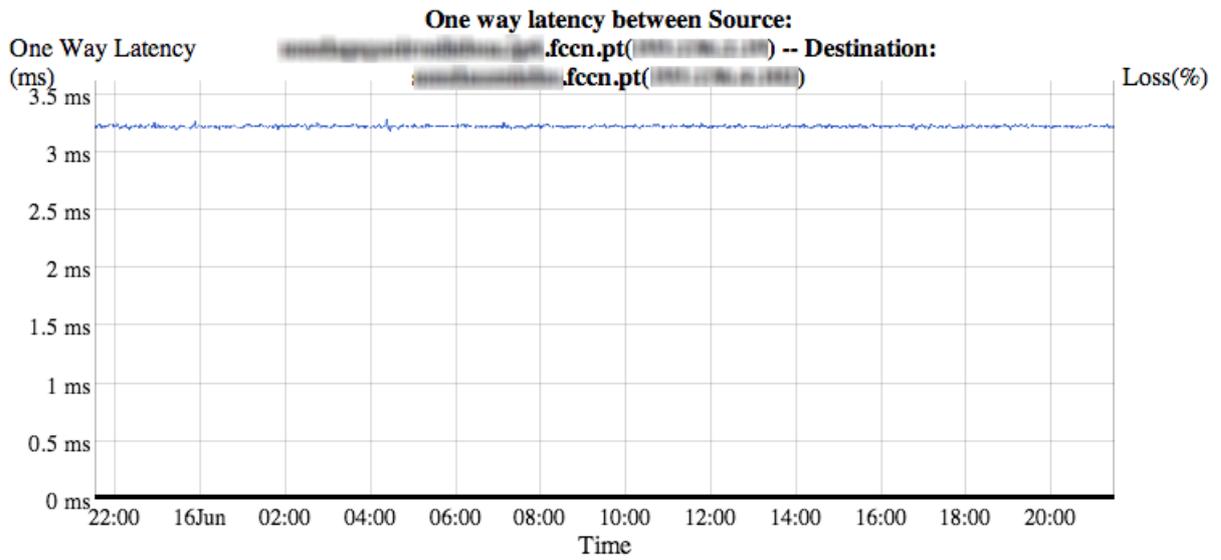


Figura 5.14: Amostra do OWD mínimo entre a sonda de Lisboa e Gualtar

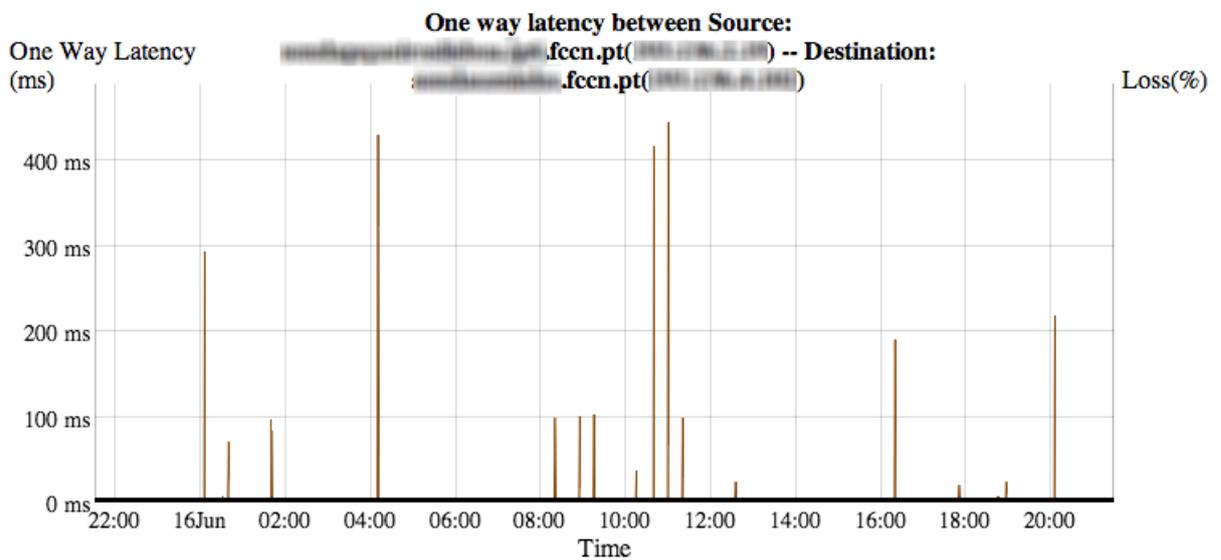


Figura 5.15: Amostra do OWD máximo entre a sonda de Lisboa e Gualtar

Foi analisada a carga nas sondas, na rede, e a configuração do NTP, mas não foi encontrada nenhuma justificção para os picos apresentados. Nas figuras 5.16, 5.17, 5.18 e 5.19 apresentam-se os valores da utilização de CPU, erro estimado do NTP e carga da rede, capturados durante uma semana de funcionamento na sonda de Gualtar.

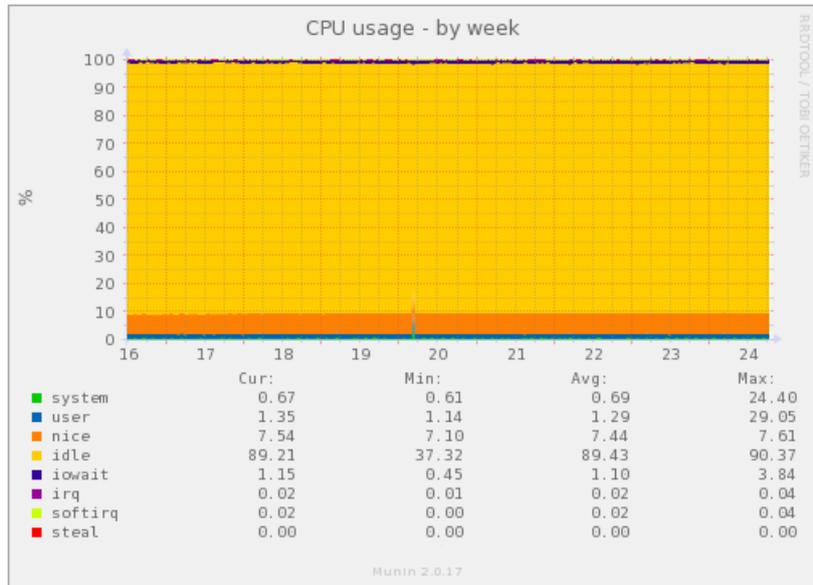


Figura 5.16: Percentagem de utilização do CPU da sonda de Gualtar

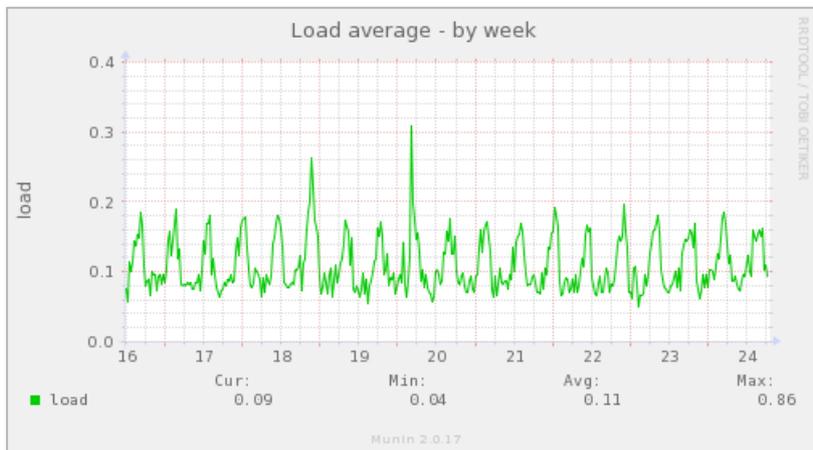


Figura 5.17: Carga da sonda de Gualtar

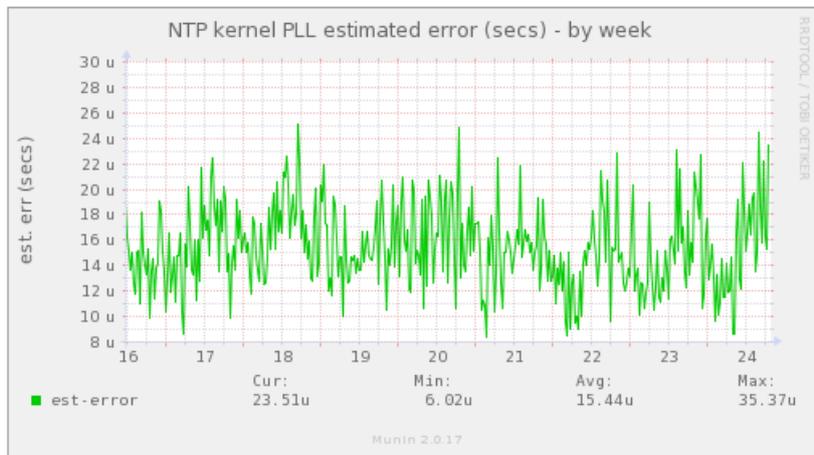


Figura 5.18: Erro estimado do NTP da sonda de Gualtar

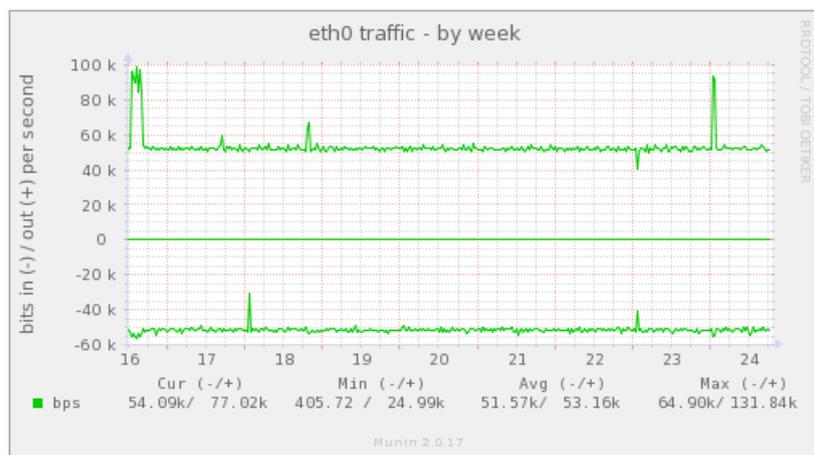


Figura 5.19: Carga na rede gerada pela sonda de Gualtar

Consultando os dados das medições de *one-way delay* de outras instituições que utilizam a mesma versão do **perfSONAR-PS** [168], verifica-se que os picos nos valores máximos também se encontram presentes.

Após discussão desta ocorrência com os autores do **perfSONAR-PS**, a explicação mais plausível para os picos apresentados nas medições, é de que estes são decorrentes dos atrasos presentes na pilha do *software*, como discutido na secção 4.2. Em alguns casos, as variações dos atrasos no processo de receber um pacote, gerar uma interrupção, e colocar um carimbo temporal, poderão introduzir falsos atrasos nos pacotes de medição.

Na figura 5.20 podem-se comparar os resultados obtidos com a solução da QoS-Metrics ¹ e com o **perfSONAR-PS**.

Como se pode verificar, existe uma diferença de valores entre as soluções QoS-Metrics e **perfSONAR-PS** de 0.2~0.4 milisegundos. Esta diferença manteve-se constante durante a fase de testes.

De realçar também o pico de 125 milisegundos que ocorre por volta das quatro da manhã, bem como os picos presentes na figura 5.15. Importa referir que estes são resultado de um ou dois pacotes com um atraso visivelmente superior à média, num total de 60 pacotes em cada sessão de um minuto. Usando métodos estatísticos, como o percentil 95, estes *outliers* podem ser descartados [169].

Durante a fase final de testes, ocorreu um incidente real que permitiu observar o correto funcionamento da solução **perfSONAR-PS**. No dia 1 de julho de 2013, a ligação Lisboa - Porto da RCTS foi interrompida, e entrou em funcionamento o circuito redundante Badajoz - Valença - Porto, cedido pela RedIRIS [170]. A consequência imediata foi o aumento da latência na ligação Lisboa - Braga para cerca de 10 milisegundos, como se encontra patente nas figuras 5.21 e 5.22.

As duas soluções comportaram-se, como seria esperado, da mesma maneira, apresentando a respetiva subida na latência do circuito e conseqüente descida, após resolução da avaria. O facto do comportamento das duas soluções ser semelhante, e de não existir grande diferença entre os valores reportados por ambas, levou à confirmação de que a solução do **perfSONAR-PS** será um bom substituto da solução de medição de QoS atualmente em uso.

¹**Latência Norte** refere-se à latência entre as sondas QoS-Metrics do Porto e Braga. **Latência Sul** refere-se à latência entre as sondas QoS-Metrics de Lisboa e Braga.

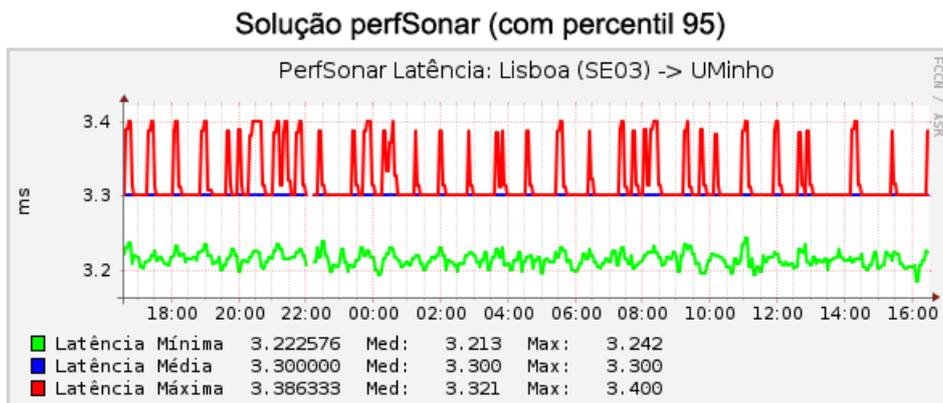
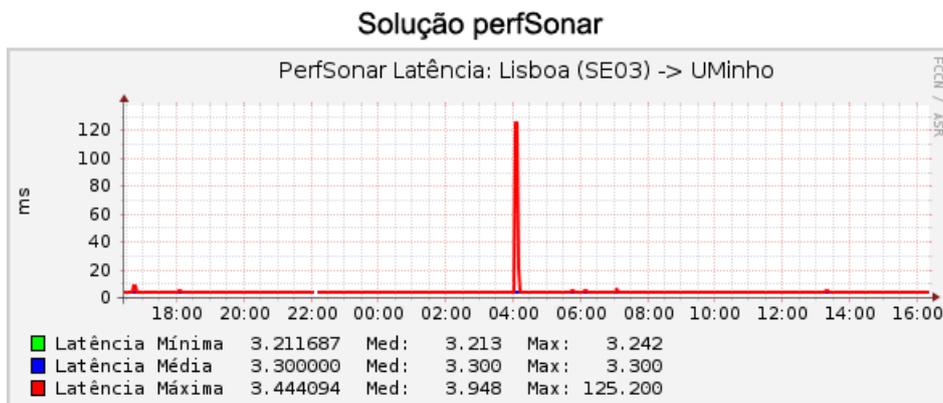
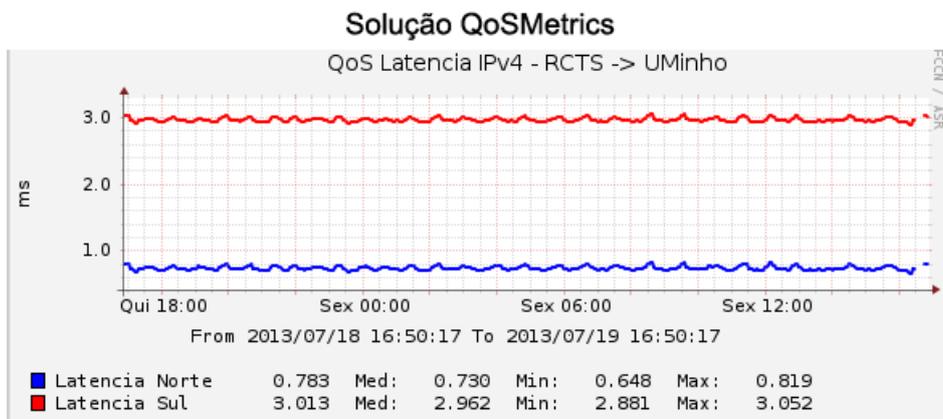


Figura 5.20: Comparação das medições de QoS entre as soluções QoSMetrics e perfSONAR-PS

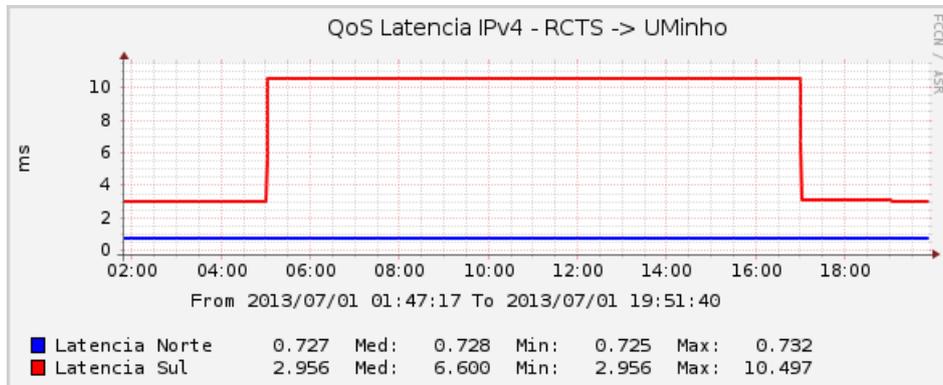


Figura 5.21: Alteração da latência reportada pela solução QoSMetrics

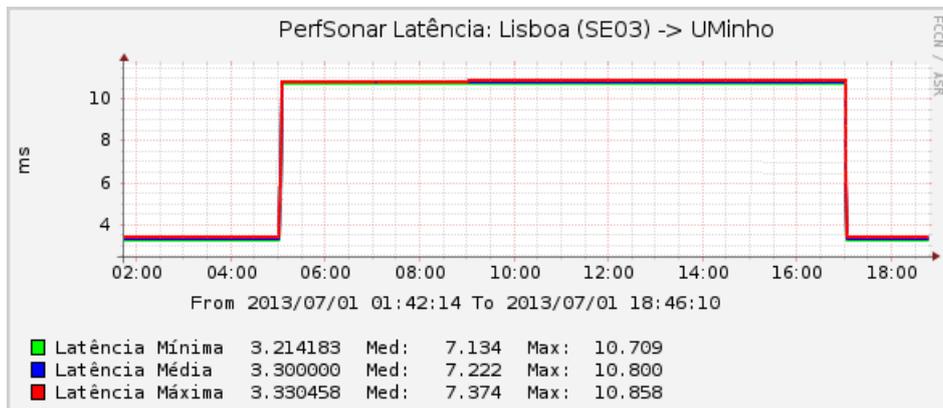


Figura 5.22: Alteração da latência reportada pela solução perfSONAR-PS

Existem soluções baseadas em *hardware* específico que medem com precisão os atrasos existentes, e geralmente incluem estratégias especificamente desenhadas para prevenir medições anómalas, ou para as filtrar, quando estas acontecem. A *appliance* da QoSMetrics poderá ser um exemplo, visto que efetua os carimbos temporais recorrendo a *hardware* próprio (referido na secção 3.4). Além disso, a solução da QoSMetrics utiliza um protocolo proprietário de sincronização temporal (QTP), e pressupõe a utilização de um dispositivo GPS ligado às sondas principais de Porto e Lisboa, fornecendo uma referência temporal mais precisa do que a que é utilizada no ambiente de teste.

Além dos testes efetuados sob IPv4, foram também realizados testes utilizando IPv6 nativo. Tanto a sonda de Lisboa como a sonda de Gualtar foram configuradas com um endereço IPv6, não sendo utilizados túneis IPv6 sob IPv4. Os resultados obtidos são análogos, verificando-se no entanto uma diferença constante entre os valores obtidos na ordem dos 0.1 milisegundos, como constatado na figura 5.23.

Seria interessante poder realizar testes com outras configurações de *hardware* e *software*, para poder aferir com exatidão a causa dos picos nos valores máximos do atraso, e comparar com mais rigor a solução da QoSMetrics e do *perfSONAR-PS*, mas infelizmente, por restrições logísticas e temporais, tal não foi possível.

5.3.3 Integração com sistema automático de relatórios

Um dos objetivos deste trabalho é a integração das medições de QoS com o sistema automático de relatórios em vigor na FCCN. Como tal, foi desenvolvido um *script* em PHP para obter as métricas recolhidas com os testes de *one-way delay* e integrá-las no sistema automático de relatórios. Para isso, acedeu-se diretamente à base de dados do *perfSONAR-PS*, mais especificamente às tabelas onde são guardados os resultados dos testes de *one-way delay*. Esta base de dados encontra-se armazenada na sonda onde são configurados os testes de *one-way delay*.

O *perfSONAR-PS* utiliza seis tabelas para guardar os dados relacionados com as medições de *one-way delay*: uma única tabela *DATES* e um conjunto diário de outras tabelas. A tabela *DATES* contém os dias em que os testes foram realizados, e as restantes tabelas contêm informação sobre os testes realizados num dado dia:

- A tabela *NODES* descreve os nós envolvidos em testes num dado dia, sejam eles emissores ou recetores.



Figura 5.23: Comparação da latência entre IPv4 e IPv6

- A tabela TESTSPEC contém os parâmetros dos testes realizados num dado dia.
- A tabela DATA contém um resumo individual dos resultados dos testes efetuados.
- A tabela DELAY contém os dados do histograma dos pacotes recebidos no âmbito de um determinado teste.
- A tabela TTL pode ser usada para gerar um histograma dos valores de Time To Live (TTL) encontrados durante a realização dos testes. Estes valores são úteis para perceber se existiu alguma alteração na rota durante a realização dos testes.

Para calcular as métricas desejadas, é necessário apenas consultar as tabelas NODES, DATA e DELAY.

A tabela NODES contém os campos *node_id*, *node_name*, *longname*, *host* e *addr*. O campo *node_id* é o identificador interno para o nó. Os campos *node_name* e *longname* são definidos pelo utilizador quando este adiciona o nó a uma medição através do GUI do perfSONAR-PS. O *host* corresponde ao nome do nó (DNS) e o campo *addr* ao endereço IP do mesmo.

A tabela DATA contém os campos *send_id*, *recv_id*, *tspec_id*, *si*, *ei*, *timestamp*, *etimestamp*, *start_time*, *end_time*, *min*, *max*, *minttl*, *maxttl*, *sent*, *lost*, *dups* e *maxerr*. Os campos *send_id* e *recv_id* contêm os identificadores da tabela *_NODES*. O campo *tspec_id* contém o identificador da tabela *_TESTSPEC*. Os campos *timestamp* e *etimestamp* contêm a data de início e fim do teste, respetivamente, em valores de 64 bits (os 32 bits mais significativos representam a data em formato UNIX e os 32 bits menos significativos são a resolução em nanosegundos). Os campos *start_time* e *end_time* são representações da data em formato UNIX como definido pela International Organization for Standardization (ISO). Os campos *min* e *max* contêm os valores mínimos e máximos de *one-way delay* encontrados na sessão. Os campos *minttl* e *maxttl* dizem respeito aos valores mínimos e máximos de TTL encontrados nos pacotes recebidos. Os campos *sent*, *lost* e *dups* representam o número de pacotes enviados, perdidos e duplicados, respetivamente. Finalmente, o campo *maxerr* contém o erro máximo reportado pelo NTP durante a sessão.

A tabela DELAY contém os campos *send_id*, *recv_id*, *tspec_id*, *si*, *ei*, *bucket_width*, *basei*, *i* e *n*. Esta tabela permite construir um histograma que demonstra a quantidade

de pacotes que chegou com um determinado atraso. Os campos *send_id*, *recv_id*, *tspec_id*, *si* e *ei*, devem ser iguais aos valores encontrados na tabela *_DATA* para esta amostra. O campo *bucket_width* descreve a largura de cada classe do histograma (em segundos). Cada linha da tabela corresponde a uma única classe do histograma. Se os campos *send_id*, *recv_id*, *tspec_id*, *si* e *ei* foram iguais entre linhas, estas correspondem a duas classes do mesmo histograma. Os campos *basei* e *i* descrevem o limite inferior de cada classe. O campo *n* representa a frequência (em número de pacotes) de uma determinada classe.

Para perceber melhor esta tabela, considerem-se quatro linhas pertencentes ao mesmo histograma. O *bucket_width* é igual para as quatro e tem o valor de 0.0001; o *basei* também é igual e tem o valor 33. A primeira linha tem $i = 0$ e $n = 53$, a segunda $i = 1$ e $n = 5$, a terceira $i = 2$ e $n = 1$, e a quarta $i = 88$ e $n = 1$. Este exemplo encontra-se representado na figura 5.24 ².

DATA										
send_id	recv_id	tspec_id	si	ei	start_time	end_time	min	max	sent	
714363769	301619948	3849499343	3572121931	3572121982	Wed Mar 13 00:05:31 UTC 2013	Wed Mar 13 00:06:22 UTC 2013	0.00323296	0.0120931	60	
DELAY										
send_id	recv_id	tspec_id	si	ei	start_time	end_time	bucket_width	basei	i	n
714363769	301619948	3849499343	3572121931	3572121982	Wed Mar 13 00:05:31 UTC 2013	Wed Mar 13 00:06:22 UTC 2013	0.0001	33	0	53
714363769	301619948	3849499343	3572121931	3572121982	Wed Mar 13 00:05:31 UTC 2013	Wed Mar 13 00:06:22 UTC 2013	0.0001	33	1	5
714363769	301619948	3849499343	3572121931	3572121982	Wed Mar 13 00:05:31 UTC 2013	Wed Mar 13 00:06:22 UTC 2013	0.0001	33	2	1
714363769	301619948	3849499343	3572121931	3572121982	Wed Mar 13 00:05:31 UTC 2013	Wed Mar 13 00:06:22 UTC 2013	0.0001	33	88	1

Figura 5.24: Exemplo de entradas nas tabelas DATA e DELAY, referentes à mesma sessão

²As colunas das tabelas sem interesse para este exemplo foram removidas.

Foram filtrados os dados referentes a uma sessão, que na prática corresponde a uma medição onde durante um minuto é enviado o número de pacotes definidos na configuração dos testes de *one-way delay*. Para calcular o limite inferior de cada classe, adiciona-se o valor de *base_i* e *i* e multiplica-se por *bucket_{width}*. Na primeira linha tem-se $(33+0)\times 0.0001$, ou 0.0033 segundos. Na segunda linha tem-se $(33+1)\times 0.0001$, ou 0.0034 segundos. Na terceira linha tem-se $(33+2)\times 0.0001$, ou 0.0035 segundos. Finalmente, na quarta linha tem-se $(33+88)\times 0.0001$, ou 0.0121 segundos.

O histograma final, representado na figura 5.25, apresenta quatro classes, mostrando que existem cinquenta e três pacotes recebidos com um atraso de 3.3 milisegundos, cinco pacotes que chegaram com um atraso de 3.4 milisegundos, um pacote que chegou com um atraso de 3.5 milisegundos e um pacote que chegou com um atraso de 12.1 milisegundos.

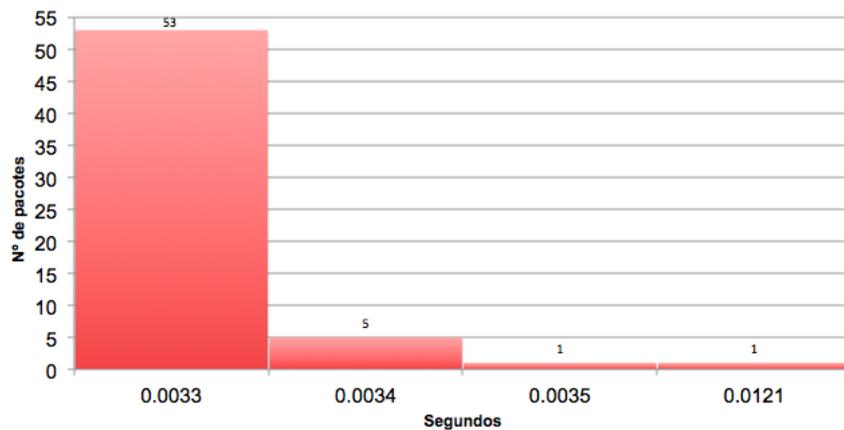


Figura 5.25: Histograma referente ao exemplo apresentado

Nos dados da tabela **DATA** é registrado um resumo dos valores da sessão, onde se pode conferir que os valores mínimos e máximo de atraso encontrados correspondem aos valores das classes periféricas do histograma.

O *script* desenvolvido (apresentado no apêndice J) recebe os endereços IP (v4 ou v6) de duas sondas como parâmetros. De cinco em cinco minutos, este *script* verifica se existem dados nas tabelas referentes a medições de *one-way delay* entre estas duas sondas. Se existirem, determina as seguintes métricas, referentes aos últimos cinco minutos:

- atraso mínimo, mediano e máximo

- percentil 95 do atraso
- variação do atraso
- percentagem de pacotes perdidos
- número de pacotes enviados e duplicados
- erro do NTP

Os valores mínimos e máximos de atraso, percentagem de pacotes perdidos, número de pacotes enviados e duplicados, e o erro do NTP são recolhidos diretamente da tabela DATA. Através da construção de um histograma (recorrendo à tabela DELAY) com os valores referentes aos últimos 5 minutos de medições, é possível determinar o percentil 95, a mediana e a variação do atraso.

Utilizando o percentil 95 referente aos valores do histograma, verifica-se que os *outliers* são eliminados, podendo-se utilizar este valor como representação do valor máximo obtido pelas medições de *one-way delay*. A desvantagem de usar o percentil 95, prende-se com o facto de se limitar a resolução dos valores a milisegundos, visto que a forma como o perfSONAR-PS armazena os dados das medições na base de dados não permite obter uma resolução mais fina (*basei* e *i* são valores inteiros, e multiplicados pelo *bucket_width* devolvem o valor do atraso em segundos).

Na figura 5.26 podemos observar a aplicação do percentil 95 a uma amostra, onde um dos picos do valor máximo (0.0337734 segundos) é uma ordem de grandeza superior ao valor obtido após o cálculo do percentil 95 (0.0033 segundos).

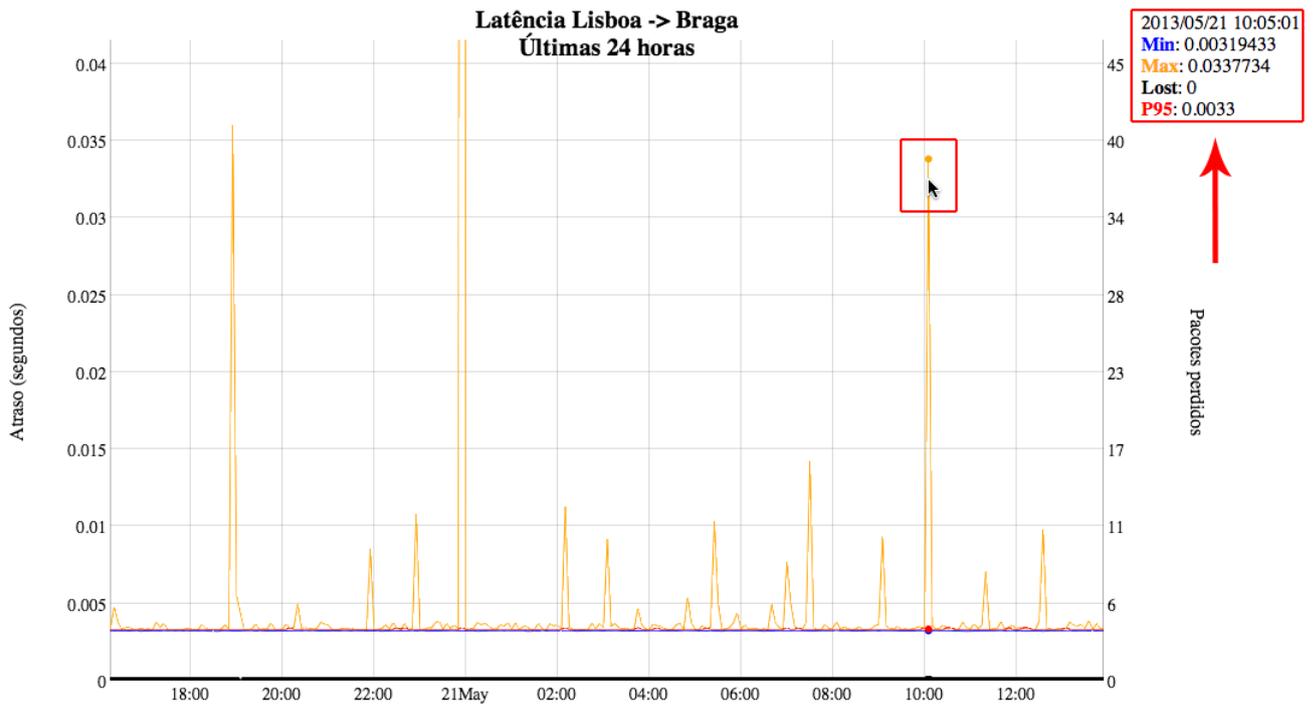


Figura 5.26: Amostra da aplicação do percentil 95 às medições entre a sonda de Lisboa e Gualtar

A variação do atraso é calculada subtraindo a mediana do atraso ao percentil 95 do atraso. A aplicação do percentil 95 permite remover as variações das medições introduzidas pelos atrasos da pilha de *software*. Ao subtrair a mediana, normaliza-se a amostra e o valor obtido permite obter uma ideia da estabilidade dos atrasos. Este valor não tem a mesma definição do *jitter* [171], e infelizmente não existe forma de obter os valores mínimos, médios e máximos do *jitter* com esta implementação do perfSONAR.

5.4 Sistema de gestão centralizado

Após a implementação da solução de medição dos parâmetros de QoS utilizando o perfSONAR-PS, foi necessário dotar a arquitetura final de um sistema que permitisse à FCCN gerir de forma centralizada e controlada o seu parque de sondas, sem dependências externas à organização. Alguns dos requisitos desse sistema centralizado passam por:

- Permitir controlar quais os pacotes que são instalados em cada sonda e em que altura é que isso é feito.

- Permitir organizar o parque de sondas em vários lotes, cada um com um conjunto de pacotes diferenciados.
- Permitir o *rollback* de pacotes que tenham sido instalados.
- Manter um registo do histórico da instalação de pacotes em cada sonda.
- Sincronizar de forma controlada com repositórios de pacotes externos à FCCN.

Sem um sistema que permita fazer este tipo de gestão de forma centralizada, a instalação e manutenção das sondas torna-se dispendiosa no número de horas que os administradores precisam para instalar uma sonda - completamente operacional - e, posteriormente, atualizá-la, assim que as ferramentas utilizadas o exigiam.

Antes de se pensar em construir um sistema à medida, foi feita uma pesquisa dos sistemas *open-source* existentes no mercado que respeitassem os requisitos impostos pela FCCN e que oferecessem mais valias. Existem muitos produtos que disponibilizam as capacidades de configuração de que a FCCN estava à procura, tais como o **Chef** [177], **BCFG2** [178], **Puppet** [179] ou **CFEngine** [180], mas quase todos eles apenas oferecem as funcionalidades necessárias nas versões pagas dos produtos.

No final, decidiu-se instalar e experimentar o **Spacewalk** [181], uma solução *open-source* de gestão de sistemas Linux, mantida por uma comunidade de utilizadores, a partir da qual é derivado o Red Hat Network (RHN) **Satellite** [182]. As suas capacidades incluem:

- Inventariar os sistemas (informação sobre *hardware* e *software*).
- Instalar e atualizar *software* nos sistemas.
- Organizar pacotes de *software* em grupos configuráveis.
- Fazer a instalação automática de um dos sistemas operativos Linux suportados.
- Gerir e distribuir ficheiros de configuração entre os sistemas.
- Monitorizar os sistemas.
- Executar comandos remotos nos sistemas.
- Gerir máquinas virtuais.

Estas capacidades mostram-se bastante apetecíveis, pois facilitam a instalação transversal da nova solução de medição dos parâmetros de QoS em todas as sondas.

Após disponibilização por parte da FCCN de uma máquina virtual, instalou-se a última versão do Spacewalk disponível (1.9) e procedeu-se à configuração da mesma. O Spacewalk fornece um GUI através de uma página *web*, onde é possível proceder à configuração dos vários aspectos deste sistema.

Para poder criar repositórios, a partir dos quais serão instalados os pacotes necessários ao funcionamento das sondas, é necessário criar *canais* no Spacewalk. Um canal deve conter todos os pacotes necessários à instalação de um sistema operativo. Pacotes adicionais devem ser adicionados em sub-canais. Os canais e os sub-canais podem ser sincronizados (a pedido ou periodicamente) com repositórios externos, como pode ser visto na figura 5.27.

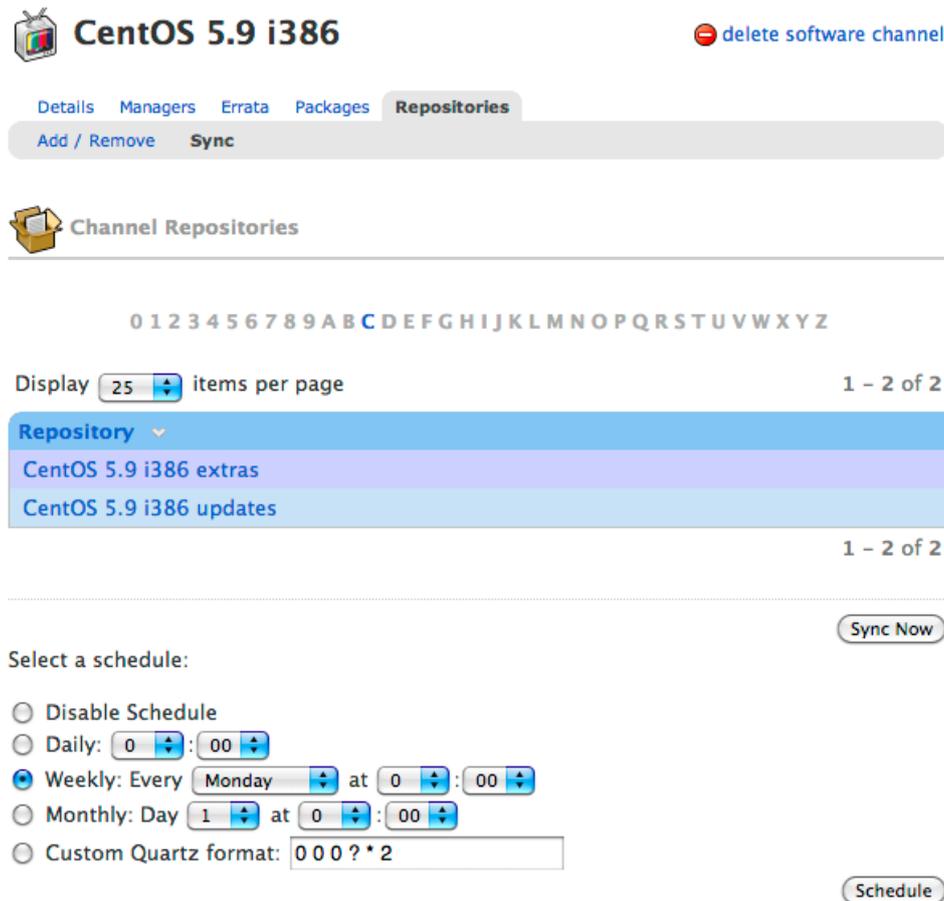


Figura 5.27: Exemplo da sincronização de canais com repositórios externos

Para instalar uma versão semelhante à disponibilizada pelo projeto **perfSONAR-PS** (*pS Performance Toolkit*), criou-se um canal com os pacotes do CentOS 5.9 e sub-canais com os pacotes necessários à instalação do *pS Performance Toolkit* e do cliente do **Spacewalk**, como se pode ver na figura 5.28.

Channel Name	Packages
CentOS 5.9 i386	3338
└ EPEL 5	6336
└ pS-Toolkit latest packages	539
└ Spacewalk 1.9 client i386	23

Figura 5.28: Canais do Spacewalk

Estes canais foram configurados de forma a sincronizarem periodicamente com os repositórios oficiais. O repositório Extra Packages for Enterprise Linux (EPEL) [183] é utilizado tanto pelo **Spacewalk** como pelo **perfSONAR-PS**. O EPEL é um repositório de pacotes adicionais para *Enterprise Linux*, incluindo (mas não limitado a) RHEL [184], CentOS [185] e Scientific Linux [186]. Estes pacotes são geralmente baseados na versão destes para Fedora [187] e não criam conflitos ou substituem pacotes das distribuições base do *Enterprise Linux*.

Outra funcionalidade oferecida pelo **Spacewalk** é a possibilidade de ter ficheiros de configuração geridos centralmente. Isto significa que se podem criar canais de configuração e especificar ficheiros dentro desses canais que devem ser iguais em todos os sistemas que subscrevam esses canais. Neste caso específico, é desejável gerir centralmente os seguintes ficheiros:

1. `/etc/ntp.conf` - contém a configuração do NTP, nomeadamente quais os servidores a utilizar
2. `/etc/sysconfig/rhn/osad.conf` - contém a configuração do cliente OSAD
3. `/var/lib/nocpulse/.ssh/authorized_keys` - contém as chaves públicas dos computadores autorizados a aceder a esta máquina através da autenticação por chave pública / chave privada
4. `/etc/yum.repos.d/CentOS-Base.repo` - contém a configuração do repositório base do CentOS
5. `/etc/yum.repos.d/Internet2.repo` - contém a configuração do repositório base da Internet2

6. */etc/yum.repos.d/Internet2-web100_kernel.repo* - contém a configuração do repositório com o kernel Web100 da Internet2
7. */etc/yum.repos.d/epel.repo* - contém a configuração do repositório EPEL
8. */opt/perfsonar_ps/toolkit/etc/enabled_services* - contém a configuração dos serviços do perfSONAR-PS

No caso do ficheiro 1, deve-se incluir a configuração dos servidores NTP a utilizar para efetuar a sincronização temporal entre todas as sondas. No ficheiro 2 deve ser incluído o caminho para o certificado SSL do servidor do **Spacewalk**, e no ficheiro 3 deve-se configurar a chave pública do servidor **Spacewalk**. Para os ficheiros 4, 5, 6 e 7, é desejável desativar estes repositórios, para que todos os pacotes a instalar nas sondas sejam fornecidos apenas pelo servidor **Spacewalk**. Finalmente, no ficheiro 8, devem-se ativar apenas os serviços relacionados com as medições de *one-way delay*. Exemplos destes ficheiros podem ser encontrados nos apêndices B, C, D, E, F, G, H e I.

Para registar um sistema no **Spacewalk**, de forma a que seja possível gerir o sistema a partir do **Spacewalk**, devem-se utilizar chaves de ativação. Os sistemas registados com uma chave de ativação herdam as características dessa chave, que podem ser definidas no GUI do **Spacewalk**, como os canais de pacotes e configuração a subscrever, os pacotes que devem estar instalados e os grupos a que pertencem os sistemas registados com essa chave.

Aquando do registo de um sistema no **Spacewalk**, são recolhidas informações sobre o *hardware* e o *software* do sistema, as quais podem ser consultadas através do GUI do **Spacewalk**. Um exemplo da informação sobre o *hardware* de um sistema gerido pelo **Spacewalk** pode ser visto na figura 5.29.

The screenshot shows a web-based system management interface. At the top left is a logo and the URL 'perflimitar-imp3.sistemas.fccn.pt'. To the right are buttons for 'add to ssm' and 'delete system'. Below the URL is a navigation menu with tabs: Details, Software, Configuration, Provisioning, Monitoring, Groups, Audit, Events, Overview, Properties, Remote Command, Reactivation, Hardware (selected), Migrate, Notes, and Custom Info. The main section is titled 'Refresh Hardware List' and contains a paragraph explaining that the list represents detectable hardware and a 'Schedule Hardware Refresh' button. Below this is a 'General' section with the heading '(1) Intel(R) Xeon(TM) CPU 3.00GHz (2999 MHz)'. A table displays the following hardware specifications:

Arch:	i686	Cache:	2048 KB
Vendor:	GenuineIntel	Memory:	502 MB
Stepping:	10		
Family:	15	Swap:	1027 MB

Figura 5.29: Exemplo de informação de *hardware* de um sistema

Na gestão do *software* presente num sistema, é possível listar, instalar e desinstalar *software* que faça parte dos canais subscritos por um dado sistema. Na figura 5.30 pode-se ver um exemplo da opção de atualização do *software* de um sistema.


perffusion-0mp3.com.br.fccn.pt

 add to ssm |
  delete system

[Details](#)
Software
[Configuration](#)
[Provisioning](#)
[Monitoring](#)
[Groups](#)
[Audit](#)
[Events](#)

[Errata](#)
Packages
[Software Channels](#)
[Software Crashes](#)

[List / Remove](#)
Upgrade
[Install](#)
[Verify](#)
[Profiles](#)
[Extra Packages](#)


Upgradable Packages

The following packages on this system are out-of-date and may be upgraded.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Filter by Latest Package:
 Display items per page
 1 - 18 of 18 (0 selected)

<input type="checkbox"/>	Latest Package	Installed Package	Related Errata
<input type="checkbox"/>	glibc-2.5-107.el5_9.5.i686	glibc-2.5-107.el5_9.4.i686	
<input type="checkbox"/>	glibc-common-2.5-107.el5_9.5.i386	glibc-common-2.5-107.el5_9.4.i386	
<input type="checkbox"/>	glibc-devel-2.5-107.el5_9.5.i386	glibc-devel-2.5-107.el5_9.4.i386	
<input type="checkbox"/>	glibc-headers-2.5-107.el5_9.5.i386	glibc-headers-2.5-107.el5_9.4.i386	
<input type="checkbox"/>	gnutls-1.4.1-10.el5_9.2.i386	gnutls-1.4.1-10.el5_9.1.i386	
<input type="checkbox"/>	kernel-2.6.18-348.6.1.el5.web100.i686	kernel-2.6.18-348.4.1.el5.web100.i686	
<input type="checkbox"/>	kernel-devel-2.6.18-348.6.1.el5.web100.i686	kernel-devel-2.6.18-348.4.1.el5.web100.i686	

Figura 5.30: Exemplo da atualização de *software* de um sistema

Todas as alterações de *software* (e não só) feitas num sistema podem ser revertidas, através de um sistema de *snapshots*. De cada vez que é feita uma alteração a um sistema, é guardado um *snapshot* com o estado anterior do sistema. Se um administrador desejar, pode voltar atrás e anular as alterações feitas. Um exemplo da lista de *snapshots* de um sistema pode ser visto na figura 5.31.

System Snapshots

System Snapshot Rollback functionality allows you to restore a system's package profile, configuration files, and RHN configuration to previously recorded values.

Below are a list of snapshots of your system. To rollback to a previous configuration, or to view the changes that would have if you rolled back, click the desired snapshot below.

1 - 9 of 9

Reason	Time Taken	Tags
Package profile changed	2013-05-20 19:48:20	0
Scheduled action completion: Package Install	2013-05-17 18:33:07	0
Scheduled action completion: Package Install	2013-05-17 18:29:38	0
Package profile changed	2013-05-17 18:29:37	0
Scheduled action completion: Deploy config files to system	2013-05-17 17:54:43	0
Scheduled action completion: Package Install	2013-05-17 17:54:42	0
Package profile changed	2013-05-17 17:54:41	0
Scheduled action completion: Deploy config files to system	2013-05-17 17:32:13	0
Package profile changed	2013-05-17 17:32:08	0

1 - 9 of 9

Figura 5.31: Lista de *snapshots* de um sistema

O Spacewalk permite ainda monitorizar os sistemas com *probes* (*sondas*, mas não no sentido em que é utilizado neste capítulo), que dão informação sobre vários aspetos do sistema, tais como a carga do sistema, a taxa de utilização de memória ou sobre o estado de um serviço específico do sistema. Na figura 5.32 pode-se ver um exemplo destas *probes*.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Filter by Probe Description:
 Display items per page
 1 - 3 of 3 (0 selected)

<input type="checkbox"/>	State	Probe Description	Status String	Type
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Linux: Load	CPU load 1-min ave 0.60; CPU load 5-min ave 0.51; CPU load 15-min ave 0.46	System
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Linux: Memory Usage	RAM free 32.05 MB	System
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Network Services: Web server HTTP	URL "/": Latency 1.670 sec; Downloaded 18,053 bytes	System

Figura 5.32: Estado das *probes* de um sistema

A funcionalidade do Spacewalk que auxilia os administradores na instalação remota de sistemas é a possibilidade de criar perfis de *kickstart*. O *kickstart* [188] é um método utilizado para proceder à instalação automática de um sistema operativo e pacotes adicionais, através de um ficheiro que contém a configuração da instalação (esquema de particionamento, pacotes a instalar, repositórios a utilizar, *scripts* a executar, etc.). Assim, não é necessária a intervenção de um administrador durante o processo da instalação.

Depois de criados os canais com os pacotes a instalar no sistema, e de criada a distribuição do sistema operativo a utilizar (CentOS 5.9), foi necessário criar um perfil para poder fazer o *kickstart* de uma máquina. Depois de analisar o ficheiro de *kickstart* utilizado pelo *pS Performance Toolkit*, foi criado um perfil de *kickstart* através do GUI do Spacewalk. Este perfil contém, além de outras opções, uma listagem com todos os pacotes necessários para instalar o CentOS 5.9, o *pS Performance Toolkit* 3.2.2 e o cliente do Spacewalk 1.9. Na figura 5.33 pode-se ver alguns desses pacotes.

O Spacewalk inclui a ferramenta Cobbler [189], um servidor de instalação de sistemas operativos Linux que permite a rápida configuração de ambientes de instalação em rede. Depois de criados os perfis de *kickstart* desejados, é possível gerar, através do Cobbler, um ficheiro ISO que pode ser gravado num Compact Disc (CD) ou numa

[Kickstart Details](#)
[System Details](#)
[Software](#)
[Activation Keys](#)
[Scripts](#)
[Kickstart File](#)

Package Groups
[Package Profiles](#)

Install Packages by Package Name and Group

Specify below the packages and package groups you'd like to install on systems during kickstart. Please list packages and groups one per line. For more information please see *The Red Hat Enterprise Linux System Administration Guide*. If you would prefer to specify packages to be installed by package profile sync, please visit the *Package Profiles* tab to change the kickstart software installation method.

Note: only packages available in your Enterprise Linux install tree should be specified here. To install packages available in Spacewalk software channels, please associate an appropriate activation key with this kickstart profile in the *Activation Keys* tab.

Don't install @Base package group:

Ignore missing packages:

```

perl-perfSONAR_PS-LSCacheDaemon
perl-perfSONAR_PS-LSRegistrationDaemon
perl-perfSONAR_PS-perfSONARBUOY-client
perl-perfSONAR_PS-perfSONARBUOY-config
perl-perfSONAR_PS-perfSONARBUOY-server
perl-perfSONAR_PS-PingER-server
perl-perfSONAR_PS-SNMPMA
perl-perfSONAR_PS-Toolkit
perl-perfSONAR_PS-Toolkit-SystemEnvironment
perl-perfSONAR_PS-TracerouteMA-client
    
```

Update Packages

Figura 5.33: Alguns dos pacotes utilizados para instalar o *pS Performance Toolkit*

pen USB e que é depois utilizado numa máquina remota para fazer o arranque da instalação remota do sistema operativo e respetivos pacotes associados através de um determinado perfil de *kickstart*.

O *Cobbler* constrói automaticamente um menú com todos os perfis de *kickstart* gerados pelo *Spacewalk*, a partir do qual um administrador pode escolher o *kickstart* desejado para uma determinada máquina. O ficheiro de *kickstart* é especificado diretamente através de um URL (pressupõe-se que as máquinas a instalar remotamente possuem conectividade à rede e conseguem aceder ao servidor onde está alojado o *Spacewalk*). Na figura 5.34 está representado o menú e os detalhes de uma das opções da lista.

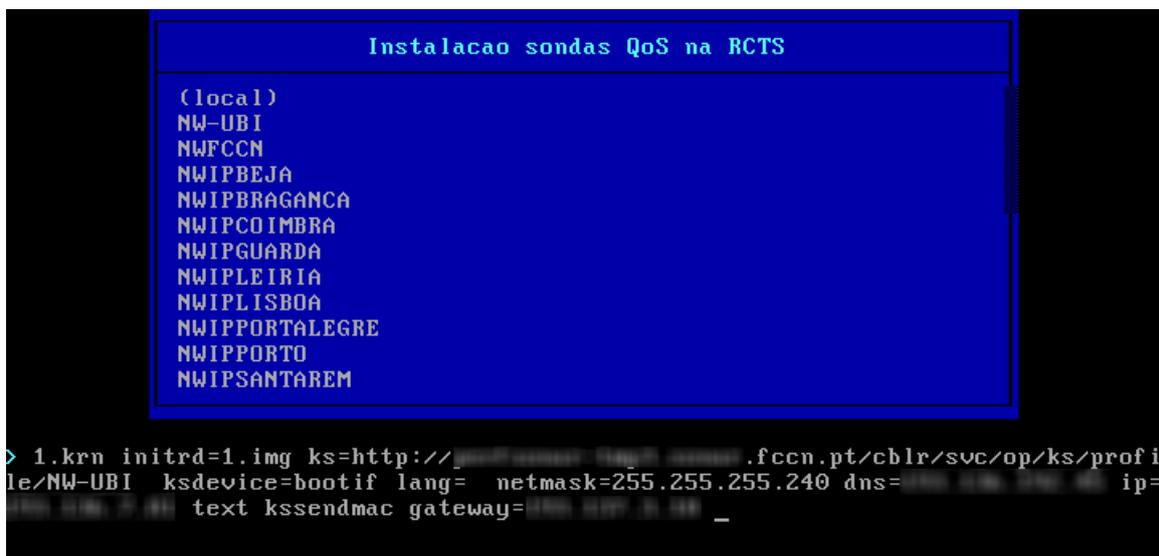


Figura 5.34: Exemplo do ecrã de instalação remota das sondas

No entanto, é também possível associar gamas de IPs específicos a determinados perfis de *kickstart* no *Spacewalk*, permitindo utilizar um único URL para o *kickstart*. O perfil a utilizar é determinado pelo *Spacewalk*, conforme o IP da máquina que executa o *kickstart*. Na figura 5.35 pode-se ver a opção de associar gamas de IPs a um perfil de *kickstart*.

IP Address-Based Bare Metal Kickstart URL

Alternatively, you may associate each of your kickstart profiles with particular ip ranges. Then, you can provide bare metal systems with a single URL that will provide each system the kickstart file associated with its IP Address. Below you will find this URL:

http://ip/range/192.168.1.0-192.168.1.255/fccn.pt/ks/cfg/org/1/mode/ip_range

Tip: A full listing of the IP ranges associated with your organization's kickstart profiles is available

Associated IP Ranges with Kickstart Profile

You may add or delete IP ranges associated with this kickstart profile below:

IP Address Range:	1.2.3.4 - 5.6.7.8	delete
IP Address Range:	<input type="text" value="123"/> · <input type="text" value="123"/> · <input type="text" value="123"/> · <input type="text" value="123"/> - <input type="text" value="123"/> · <input type="text" value="123"/> · <input type="text" value="123"/> · <input type="text" value="234"/>	
<input type="button" value="Add IP Range"/>		

Figura 5.35: Opção de fazer adicionar gamas de IPs a um perfil de *kickstart*

5.5 Segurança

Para garantir a segurança desta solução, foram implementadas regras de *firewall* nas sondas, para permitir apenas as comunicações necessárias ao correto funcionamento das ferramentas do *perfSONAR-PS* e do *Spacewalk*. Nas figuras 5.36 e 5.37 encontra-se representada a informação respeitante às portas e protocolos utilizados pelas ferramentas *perfSONAR-PS* e *Spacewalk*.

A implementação das regras foi efetuada recorrendo à ferramenta *iptables* [192], presente na distribuição Linux utilizada. No apêndice O é detalhado o *script* utilizado para a implementação das regras de *firewall*.

Além da implementação destas regras, alojou-se o servidor do *Spacewalk* na rede de monitorização da FCCN, com o tráfego controlado por duas *firewalls* redundantes que protegem diversas redes de servidores.

Service Type	Service Name	Transport Protocol	Local Ports	Direction
Core	Web Server (Apache)	TCP	80	Incoming
			443	
	Time Server (NTP)	UDP	123	Outgoing Incoming*
			DNS	UDP
Remote Access (SSH)	TCP	22	Incoming Outgoing†	
Measurement Tools	Primitive Tools (Ping, Traceroute, Tracepath)	ICMP	N/A‡	Outgoing
		TCP,UDP**	0	Incoming§
	Traceroute	UDP	33434-33534	Incoming
	NPAD Control	TCP	8000	Incoming
	NPAD Testing		8001-8020	Incoming Outgoing
	NDT Control	TCP	7123	Incoming
	NDT Testing		3001-3003	Incoming Outgoing
	OWAMP Control	TCP	861	Incoming
	OWAMP Testing	UDP	8760-9960††	Outgoing
	BWCTL Control	TCP	4823	Incoming Outgoing
	BWCTL Peer	TCP, UDP	6001-6200‡‡	
	BWCTL Testing	TCP, UDP	5000-5600§§	
Measurement Middleware	Echo	TCP, UDP	7	Incoming Outgoing
	SNMP MA	TCP	8065 9990	Incoming
	Traceroute MA	TCP	8086	Incoming Outgoing
	Traceroute MA Measurement	ICMP TCP UDP	8087	
	PingER MA	TCP	8075	Incoming
	PingER Measurement	ICMP TCP UDP		Outgoing
	perfSONAR-BUOY MA	TCP	8085	Incoming
	perfSONAR-BUOY Control		8569 8570	Incoming Outgoing
	Lookup Service	TCP	8090 8095 9995	Incoming Outgoing

Figura 5.36: Portas utilizadas pelas ferramentas do perfSONAR-PS [190]

Port	Protocol	Direction	Reason
67	TCP/UDP	Inbound	Open this port to configure the Red Hat Satellite as a DHCP server for systems requesting IP addresses.
69	TCP/UDP	Inbound	Open this port to configure Red Hat Satellite as a PXE server and allow installation and re-installation of PXE-boot enabled systems.
80	TCP	Outbound	Red Hat Satellite uses this port to reach Red Hat Network.
80	TCP	Inbound	Web UI and client requests come in via http.
443	TCP	Inbound	Web UI and client requests come in via https.
443	TCP	Outbound	Red Hat Satellite uses this port to reach Red Hat Network (unless running in a disconnected mode for Satellite).
4545	TCP	Inbound and Outbound	Red Hat Satellite Monitoring makes connections to <code>rhmd</code> running on client systems, if Monitoring is enabled and probes are configured for registered systems.
5222	TCP	Inbound	This port pushes actions to client systems.
5269	TCP	Inbound and Outbound	This port pushes actions to Red Hat Proxy Server.
5432	TCP	Inbound and Outbound	This is a requirement for communication with a PostgreSQL database server if using an <i>External Database or Managed Database</i> .

Figura 5.37: Portas utilizadas pelo Spacewalk [191]

5.6 Conclusão

O `perfSONAR` demonstra ser uma *framework* consolidada, com duas grandes implementações distintas, mas que, essencialmente, têm o mesmo objetivo: facilitar a avaliação do estado da rede através da disponibilização de ferramentas de medição integradas com ferramentas de visualização.

No caso específico do `perfSONAR-PS`, o suporte oferecido pela comunidade (incluindo programadores e utilizadores) é rápido e eficiente, sendo possível obter respostas a dúvidas, e sugestões de instalação para casos específicos.

A possibilidade de aceder à base de dados onde são guardados os dados de medição do `OWAMP` facilita a integração com a ferramenta de criação de relatórios existente. No entanto, a forma como os dados são sumariados e armazenados leva a uma perda da precisão dos mesmos e a uma impossibilidade de extrair informação útil como a variação do atraso entre pacotes.

A dependência do `OWAMP` em relação ao `NTP` também influencia os resultados das medições, sendo desejável que no futuro seja possível suportar outros métodos de sincronização temporal, como aqueles referidos nas secções 4.2.2 e 4.2.3. No caso da utilização do `NTP`, é necessário proceder à sua correta configuração e não confiar na que vem instalada por definição. Idealmente, o `NTP` deve ser sempre utilizado em conjunto com uma referência externa de relógio precisa e fiável, como um recetor `GPS`. O preço

destes recetores não é, hoje em dia, muito alto, mas, ainda assim, as questões logísticas implícitas na instalação destes continuam a ser um grande entrave à sua utilização.

A utilização do **Spacewalk** como sistema de gestão centralizado facilita o processo de instalação do **pS Performance Toolkit** em todas as sondas, podendo a instalação ser personalizada pela FCCN e depois executada remotamente, sendo apenas necessário ligar uma *pen* USB na máquina onde se deseja instalar o **pS Performance Toolkit**.

Depois da instalação, o **Spacewalk** permite ainda a manutenção das sondas, através das suas funcionalidades de gestão de *software*, e também a reinstalação remota das mesmas.

Apesar do **Spacewalk** e do **RHN Satellite** possuírem apoio a longo prazo da Red Hat, as suas bases de funcionamento remontam a 2001, quando ainda não existiam outras ferramentas de gestão, ou o paradigma da *cloud*. Atualmente, a Red Hat tem dirigido esforços para a sua solução comercial **Cloudforms** [193] e para a solução *open-source* **Katello** [194]. Na altura da escrita desta dissertação, a ferramenta **Katello** apenas suportava arquiteturas de 64 bits.

Mais informações sobre a instalação, configuração e utilização do **Spacewalk** e do **pS Performance Toolkit** podem ser consultadas no apêndice A.

Capítulo 6

Plano de migração

Para migrar as sondas para a nova solução baseada no `perfSONAR`, sugerem-se dois planos. O primeiro é baseado no pressuposto inicial de se reutilizar o *hardware* das sondas da QoSMetrics, apresentado na secção 3.1. O segundo plano sugere a aquisição de novo *hardware* para implementar a nova solução de medição dos parâmetros de QoS.

6.1 Introdução

As 26 sondas a migrar encontram-se alojadas nas seguintes instituições:

- FCCN, Lisboa (sonda central)
- Universidade do Porto (sonda central)
- Instituto Politécnico de Beja
- Instituto Politécnico de Bragança
- Instituto Politécnico de Coimbra
- Instituto Politécnico da Guarda
- Instituto Politécnico de Leiria
- Instituto Politécnico de Lisboa
- Instituto Politécnico de Portalegre
- Instituto Politécnico do Porto
- Instituto Politécnico de Santarém

- Instituto Politécnico de Setúbal
- Instituto Politécnico de Tomar
- Instituto Politécnico de Viseu
- Universidade dos Açores
- Universidade do Algarve
- Universidade de Aveiro
- Universidade da Beira Interior
- Universidade de Coimbra
- Universidade de Évora
- Universidade da Madeira
- Universidade do Minho
- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
- Universidade Nova de Lisboa
- Universidade de Lisboa
- Universidade Técnica de Lisboa

A FCCN deverá criar uma equipa dedicada à instalação da nova solução de medição de parâmetros de QoS. Qualquer plano de migração deve contemplar também as equipas técnicas presentes nas instituições referidas, e recomenda-se que seja nomeada pelo menos uma pessoa por localização como responsável local pela migração. A utilização do sistema de gestão centralizado na migração das sondas vai minimizar o trabalho dos responsáveis locais durante todo o processo.

Cabe ao responsável local:

- Aceder à infraestrutura local onde está alojada a máquina
- Possuir *know-how* para fazer intervenções na máquina, ao nível do *hardware* e *software*
- Coordenar com a equipa da FCCN a migração para a nova solução

- Auxiliar a equipa da FCCN durante a migração para a nova solução
- Receber apoio da equipa da FCCN durante a migração para a nova solução
- Mitigar qualquer problema (externo à FCCN) que possa interferir na migração para a nova solução

6.2 Plano A - Reutilização do *hardware* atual

De forma a reutilizar o *hardware* atual para instalar o perfSONAR-PS, sugere-se que sejam seguidas as recomendações apontadas na conclusão do capítulo 3: a expansão da memória RAM e a utilização de um disco SSD em detrimento do cartão CF.

A FCCN deve fazer chegar aos responsáveis locais o *hardware* e as instruções necessárias para a atualização das máquinas, bem como uma *pen* USB contendo o *software* necessário ao *kickstart* (ver secção 5.4) da nova solução.

A arquitetura do sistema (ver capítulo 5) não permite manter simultaneamente a solução da QoS Metrics e a nova solução baseada no perfSONAR-PS, pelo que existirá necessariamente um tempo de paralisação na recolha das métricas de QoS. De forma a minimizar este tempo de paralisação, sugere-se que seja criada uma janela de manutenção acordada com todos os responsáveis locais e que a migração seja feita simultaneamente em todas as instituições. Este seria o cenário ideal, embora um pouco utópico em termos logísticos.

Nesta janela de manutenção, os responsáveis locais, em coordenação com a equipa da FCCN, devem:

- Atualizar o *hardware* da máquina (tempo estimado: entre uma a duas horas)

Remover a máquina do *datacenter*

Abrir a máquina

Remover o adaptador de cartões CF

Instalar o disco SSD

Instalar os módulos de RAM

Fechar a máquina

Verificar a deteção do novo *hardware* por parte da BIOS

Alterar a configuração da BIOS para arrancar a partir da *pen* USB

Ligar a *pen* USB à máquina

Instalar a máquina no *datacenter*

- Executar o processo de *kickstart* (tempo estimado: uma hora)

Ligar a máquina

Escolher, a partir do menú apresentado, a instituição a que pertencem

Esperar pelo final do processo

Remover a *pen* USB da máquina

- Resolver qualquer problema que possa surgir

Se não existirem problemas durante este processo, espera-se que uma janela de manutenção de três horas seja suficiente para fazer a migração total, em todas as instituições, para a nova solução de medição de parâmetros de QoS.

Se, por questões logísticas, não for possível acordar com todas as instituições uma janela de manutenção comum, a migração poder-se-á estender, e com ela o tempo de paralisação da recolha das métricas de QoS para as instituições visadas.

A partir do momento em que são migradas as sondas centrais, já não é possível voltar à solução da QoS Metrics. Qualquer problema que seja encontrado na migração das sondas centrais, aumentará o tempo de indisponibilidade da nova solução. Os problemas encontrados individualmente por cada instituição afetarão a recolha dos parâmetros de QoS da dita instituição.

Um potencial caminho passa por construir duas novas sondas centrais, com a solução baseada no *perfSONAR-PS*, instaladas paralelamente com a solução da QoS Metrics. Assim, seria possível fazer a migração faseada das sondas periféricas para a nova solução, sem prejuízo da recolha de dados.

6.3 Plano B - Instalação em novo *hardware*

Num cenário em que existe a possibilidade da aquisição de novo *hardware* para todas as sondas, a migração para a nova solução pode ser feita de uma forma mais faseada, pois será possível manter a solução da QoS Metrics e a nova solução, baseada no *perfSONAR-PS*, em paralelo.

Neste plano, sugere-se uma fase piloto, em que deve ser feita apenas a instalação das sondas centrais de Lisboa e Porto. Nesta fase, a equipa da FCCN deve:

- Executar o processo de *kickstart* (tempo estimado: uma hora)

Instalar a máquina no *datacenter*

Ligar a *pen* USB à máquina

Ligar a máquina

Escolher, a partir do menú apresentado, a instituição a que pertencem

Esperar pelo final do processo

Remover a *pen* USB da máquina

- Resolver qualquer problema que possa surgir

Após a instalação, a FCCN deve proceder a testes para validar o correto funcionamento do *perfSONAR-PS* no novo *hardware*, podendo comparar o resultado dos testes com os valores obtidos pela solução da QoSMetrics. No final desta fase, a FCCN deve fazer chegar aos responsáveis locais as novas máquinas (com a BIOS previamente configurada), bem como uma *pen* USB contendo o *software* necessário ao *kickstart* da nova solução.

Numa segunda fase, a FCCN deverá articular com as instituições, individualmente, para procederem à instalação das novas máquinas e da nova solução. Nesta fase, os responsáveis locais, em coordenação com a equipa da FCCN, devem:

- Executar o processo de *kickstart* (tempo estimado: uma hora)

Instalar a máquina no *datacenter*

Ligar a *pen* USB à máquina

Ligar a máquina

Escolher, a partir do menú apresentado, a instituição a que pertencem

Esperar pelo final do processo

Remover a *pen* USB da máquina

- Resolver qualquer problema que possa surgir

À medida que a nova solução for implementada e validada numa instituição, os responsáveis locais devem proceder à remoção da máquina antiga do seu *datacenter* e à respetiva devolução da mesma à FCCN. Se, por razões logísticas, não for possível efetuar a instalação da nova solução sem previamente proceder à remoção da máquina

antiga, existirá um tempo de paralisação na recolha das métricas de QoS que será igual ao tempo estimado da instalação da nova solução. Este tempo poderá ser diminuído, se a FCCN optar por instalar previamente a nova solução nas máquinas antes de as entregar às instituições. Assim, o responsável local apenas teria de desligar a máquina antiga e ligar a nova, devendo depois a FCCN proceder às diligências necessárias para registar a máquina no seu sistema de gestão centralizado (como indicado em 5.4).

6.4 Conclusão

Os planos de migração aqui apresentados foram elaborados de modo a minimizar (dentro do possível) o impacto nos processos em operação de recolha de dados. O sistema de gestão centralizado é uma peça importante na redução deste impacto, pela facilidade que oferece em instalar - automaticamente - a nova solução nas máquinas disponíveis.

Se existir, por parte da FCCN, disponibilidade em adquirir *hardware* mais recente, sugerem-se as recomendações de configurações de *hardware* encontradas em [195] e [196]. Este plano será sem dúvida o mais desejável, não só pelo reduzido impacto que este demonstra ter, como pela melhoria do *hardware* à disposição da nova solução de medição.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

O principal desafio deste trabalho de dissertação visava a especificação de uma rede de sondas, baseada em tecnologias *open source*, que permitisse medir a qualidade de serviço da RCTS. A solução atual, uma *appliance* da QoSMetrics, mostra sinais de deterioração ao nível do *hardware*, e a falta de assistência por parte do fabricante, que entretanto foi vendido, não oferece garantias à equipa da FCCN quanto à manutenção desta como uma solução fiável para a medição da qualidade de serviço oferecida pela RCTS.

Recorrendo ao estado da arte das ferramentas existentes para medição de parâmetros de QoS, considerou-se a arquitetura **perfSONAR** como alternativa viável à solução da QoSMetrics, permitindo recolher os dados monitorizados atualmente. Optou-se pela implementação **perfSONAR-PS**, juntamente com o sistema de gestão centralizado **Spacewalk** para gestão da rede de sondas.

O estudo conduzido no início desta dissertação, referente ao reaproveitamento do *hardware* das sondas QoSMetrics para a instalação de uma nova solução de monitorização de QoS, mostrou ser mais trabalhoso do que inicialmente previsto. O facto de se tratar de uma *appliance* desenhada para trabalhar com o *software* desenvolvido pelo fabricante, e de conter *hardware* desenhado por este para permitir carimbos temporais mais precisos nos pacotes de medição, apresentou especificidades que dificultaram a análise e os testes ao *hardware*.

Apesar de se ter concluído que é possível reaproveitar o mesmo, foram feitas recomendações no sentido de atualizar algum do *hardware* da sonda, de forma a melhor suportar uma solução genérica de medição de QoS. Num estado mais avançado desta dissertação, surgiu a possibilidade, por parte da FCCN, de adquirir e utilizar novo *hardware* para implementar a solução baseada no **perfSONAR-PS**.

O `perfSONAR-PS` mostra ser uma boa opção para a recolha das métricas de *one-way delay*, através da ferramenta `OWAMP`, com o suporte do protocolo de sincronização `NTP`. Os testes efetuados permitiram a comparação dos valores obtidos com a solução da `QoSMetrics` e com o `perfSONAR-PS`, os quais se mostraram muito semelhantes. As diferenças existentes poderão ser atribuídas à utilização, por parte da solução da `QoSMetrics`, de *hardware* específico para melhorar a precisão dos carimbos temporais. No entanto, acredita-se ser possível diminuir estas diferenças, desde que na arquitetura final seja possível utilizar as sondas centrais de Lisboa e Porto como servidores de `NTP stratum 1`, oferecendo ao resto da rede de sondas uma referência temporal mais precisa. Uma solução ainda melhor, seria incluir um recetor `GPS` em todas as sondas da rede, alcançando assim a melhor precisão temporal possível, conjuntamente com o protocolo `NTP`.

Recomenda-se que, como trabalho futuro, se estude a utilização do protocolo `SNTP` como protocolo de sincronização temporal na rede de sondas, e se efetuem testes para comparar o desempenho deste face a outros protocolos, como o `RADclock`, o `PTP` ou ainda o `802.1AS` [197]. A compatibilidade destes com a ferramenta de medição de *one-way delay* será sempre um obstáculo à adoção de uma nova solução de sincronização temporal. Num âmbito mais abrangente, a análise da sincronização de relógios, através dos vários métodos existentes, seria um trabalho muito interessante a realizar.

Apesar de não ter sido referido neste documento, existiu também um trabalho suplementar de testes e melhorias na configuração dos servidores `NTP stratum 1` da `FCCN`. A utilização de um *kernel* menos recente, impede a utilização, por parte do `NTP`, da interface de Pulse Per Second (`PPS`) oferecida pela placa `GPS` utilizada por estes servidores. Esta permitiria disciplinar o relógio local destes servidores, através de um sinal de *hardware* que envia um pulso por segundo. Isto permitiria aumentar a precisão do tempo anunciado por estes servidores. Recomenda-se que sejam seguidas com atenção as atualizações ao *kernel* do sistema operativo destas sondas, de forma a atualizar a configuração do `NTP`.

O `perfSONAR-PS` inclui outras ferramentas que não são utilizadas no âmbito do trabalho desenvolvido nesta dissertação, mas que permitem não só diagnosticar outros problemas existentes na rede, como calcular outros parâmetros de qualidade de serviço, como é o caso da largura de banda disponível. No futuro, a `FCCN` poderá fazer uso destas ferramentas, se assim lhe aprouver.

Durante a fase final desta dissertação, foram lançadas as versões 3.3 e 3.3.1 do `perfSONAR-PS`. Esta versão (3.3) corre o sistema operativo CentOS 6, e inclui correções e melhorias significativas. Não se conhecem problemas de compatibilidade com a versão 3.2.2, pelo que se recomenda que a FCCN utilize desde já a versão 3.3.1 do `perfSONAR-PS`.

Como ferramenta de gestão centralizada das sondas, o `Spacewalk` apresentou-se como uma solução muito adequada, não só pelo suporte oferecido pela comunidade, como pela sua ligação (indireta) ao sistema operativo utilizado pelo `perfSONAR-PS` (CentOS). As funcionalidades oferecidas pelo `Spacewalk` foram de encontro às necessidades da FCCN, e os testes efetuados com esta ferramenta apresentaram resultados bastante satisfatórios, oferecendo à equipa da FCCN uma facilidade acrescida na implantação do `perfSONAR-PS` ao longo da RCTS. A possibilidade de criar repositórios locais dos pacotes utilizados pelo `perfSONAR-PS` é uma valência importante, não ficando a FCCN dependente de terceiros para efetuar, ou mesmo reverter, a instalação de pacotes.

Durante a fase final desta dissertação foi lançada a versão 2.0 do `Spacewalk`, que apresentou várias correções e melhorias a esta ferramenta. Esta versão foi também anunciada como sendo a última a suportar arquiteturas de 32 bits. A nova solução *open source* da Red Hat para gestão centralizada de sistemas, baseada no conceito da *cloud*, o `Katello`, apresenta-se como a próxima evolução lógica a estudar no futuro, pela FCCN, como substituto do `Spacewalk`.

Para auxiliar a FCCN na transição para a nova solução de medição de QoS, foi elaborado um plano de migração e desenvolvido o manual de utilização das ferramentas `Spacewalk` e `perfSONAR-PS`. O plano de migração contém dois cenários possíveis de implementação, recorrendo às possibilidades de reutilização do *hardware* antigo, e aquisição de novo *hardware*. Esta última, possibilitará a implementação faseada da nova solução e terá o menor impacto no sistema automático de relatórios atual, tendo sido esta a opção entretanto escolhida pela FCCN.

No final do processo de migração, e como trabalho futuro, seria aliciante promover a análise da implementação desta solução.

A conclusão de um trabalho desta envergadura, com um impacto significativo num ambiente real, não poderá ser nada menos do que um sucesso. A possibilidade de construir, prototipar (sobre a rede RCTS) e, futuramente, acompanhar a implemen-

tação desta solução, é algo que não pode ser menosprezado. Apesar das dificuldades encontradas no decorrer desta dissertação, os objetivos a que nos propusemos foram alcançados, havendo sempre espaço para melhorias futuras.

A solução encontrada para efetuar a medição dos parâmetros de QoS, oferece à FCCN a possibilidade de estender o âmbito e alcance das suas medições, possibilitando uma análise mais rica e detalhada das suas redes, interagindo com implementações do perfSONAR noutras redes.

Nota Final

É relevante referir que, como consequência à alteração da Lei Orgânica do Ministério da Educação e Ciência, foi anunciada a extinção da FCCN e a inserção das suas competências na Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Esta alteração não afetou de forma alguma a evolução deste trabalho, muito por mérito dos colaboradores da FCCN (agora FCT).

Apêndice A

Manual de utilizador

A.1 Introdução

Este manual de utilizador diz respeito à instalação, configuração e utilização das ferramentas utilizadas na implementação da solução de medição de parâmetros de qualidade de serviço na rede da RCTS.¹

A.2 Spacewalk

O Spacewalk² é o sistema de gestão centralizado utilizado pela FCT para efetuar a instalação e manutenção das sondas de qualidade de serviço.

Os requisitos para instalar o Spacewalk são (na versão 2.0):

- Portos de saída 80, 443, 4545 (para efeitos de monitorização)
- Portos de entrada 80, 443, 5222 (para executar ações de *push* para sistemas cliente) and 5269 (para executar ações de *push* para um Spacewalk *proxy* - não utilizado), 69 UDP (para utilizar TFTP - não utilizado)
- Armazenamento para base de dados: 250 KBytes por sistema cliente + 500 KBytes por canal + 230 KBytes por pacote num canal (p.ex. 1.1 GBytes para um canal com 5000 pacotes)
- Armazenamento para pacotes (diretoria predefinida /var/satellite): Red Hat recomenda 6 GBytes por canal, mas dependerá sempre do número de pacotes do canal

¹<http://www.fccn.pt/pt/rede-academica/a-rede-ciencia-tecnologia-e-sociedade-rcts/>

²<http://spacewalk.redhat.com/>

- Mínimo de 2 GBytes de RAM, 4 GBytes recomendado
- Sistema operativo CentOS 5/6 atualizado

A.2.1 Instalação do Spacewalk

As instruções oficiais para instalar o Spacewalk podem ser encontradas aqui: <https://fedorahosted.org/spacewalk/wiki/HowToInstall>

Os pacotes binários (para Fedora 17 e 18; RHEL/CentOS 5 e 6) podem ser encontrados aqui: <http://yum.spacewalkproject.org/>

Existe também documentação completa sobre a ferramenta em

https://access.redhat.com/site/documentation/Red_Hat_Network_Satellite/.

Nesta secção tenta-se explicar passo a passo os comandos utilizados para instalar o Spacewalk no âmbito da utilização pretendida para este projeto. Pressupõe-se a instalação prévia da última versão disponível do sistema operativo CentOS 6, versão x86_64, completamente atualizada.

Antes de instalar

Antes de instalar o Spacewalk, existem alguns passos que devem ser seguidos para assegurar a correta instalação e configuração do mesmo.

Primeiro, deve-se editar o ficheiro `/etc/hosts` de forma a incluir uma entrada com o IP público e o `hostname` da máquina onde vai ser instalado o Spacewalk. Por exemplo:

Listagem A.1: Exemplo do conteúdo do ficheiro `/etc/hosts`

```

1 193.137.196.247 spacewalk.fcn.pt
2 127.0.0.1    localhost localhost.localdomain
3 ::1         localhost localhost.localdomain

```

O ficheiro `/etc/sysconfig/network` deve conter uma entrada a especificar o `hostname` da máquina.

Listagem A.2: Exemplo do conteúdo do ficheiro `/etc/sysconfig/network`

```

1 NETWORKING=yes
2 HOSTNAME=spacewalk.fcn.pt

```

Se não for necessária a sua utilização, deve-se também desativar a *firewall*, através da ferramenta `system-config-firewall` ou através do comando:

Listagem A.3: Comando para desativar a *firewall* do Linux

```
1 # rm /etc/sysconfig/iptables
```

O SELinux³ também deve ser desativado. Para tal, deve-se editar o ficheiro `/etc/selinux/config`:

Listagem A.4: Conteúdo do ficheiro `/etc/selinux/config`

```
1 # This file controls the state of SELinux on the system.
2 # SELINUX= can take one of these three values:
3 #     enforcing - SELinux security policy is enforced.
4 #     permissive - SELinux prints warnings instead of enforcing.
5 #     disabled - No SELinux policy is loaded.
6 SELINUX=disabled
7 # SELINUXTYPE= can take one of these two values:
8 #     targeted - Targeted processes are protected,
9 #     mls - Multi Level Security protection.
10 SELINUXTYPE=targeted
```

O ficheiro `/etc/host.conf` também deve ser editado, de forma a evitar possíveis problemas com a resolução dos endereços presentes no ficheiro `/etc/hosts`:

Listagem A.5: Conteúdo do ficheiro `/etc/host.conf`

```
1 multi off
```

Depois de concluir estes passos, pode-se passar à instalação dos repositórios necessários à instalação dos pacotes do `Spacewalk`.

Instalação dos repositórios

Para instalar o `Spacewalk`, é necessário instalar os repositórios que contêm os pacotes e as dependências necessárias à instalação do `Spacewalk`.

Primeiro, deve-se instalar o repositório do `Spacewalk`:

³http://selinuxproject.org/page/Main_Page

Listagem A.6: Comando para instalar o repositório do Spacewalk

```
1 # rpm -Uvh http://yum.spacewalkproject.org/1.9/RHEL/6/x86_64/spacewalk-2
   ↪ repo-1.9-1.el6.noarch.rpm
```

De seguida, deve-se instalar o repositório JPackage `generic`, através da criação do ficheiro `/etc/yum.repos.d/jpackage-generic.repo`, com o seguinte conteúdo:

Listagem A.7: Conteúdo do ficheiro `/etc/yum.repos.d/jpackage-generic.repo`

```
1 [jpackage-generic]
2 name=JPackage generic
3 #baseurl=http://mirrors.dotsrc.org/pub/jpackage/5.0/generic/free/
4 mirrorlist=http://www.jpackage.org/mirrorlist.php?dist=generic&type=2
   ↪ free&release=5.0
5 enabled=1
6 gpgcheck=1
7 gpgkey=http://www.jpackage.org/jpackage.asc
```

Por fim, deve-se instalar o repositório EPEL 6:

Listagem A.8: Comando para instalar o repositório do EPEL 6

```
1 # rpm -Uvh http://dl.fedoraproject.org/pub/epel/6/x86_64/epel-release-2
   ↪ -6-8.noarch.rpm
```

Instalação dos pacotes

Após a instalação de todos os repositórios necessários, pode-se prosseguir com a instalação dos pacotes e respetivas dependências.

O Spacewalk suporta a utilização das bases de dados Oracle ou PostgreSQL. Neste caso, deve-se instalar a base de dados PostgreSQL. Existe um pacote que trata da instalação da base de dados. Para o instalar, deve-se executar o comando:

Listagem A.9: Comando para instalar a base de dados PostgreSQL

```
1 # yum install spacewalk-setup-embedded-postgresql
```

Depois de instalada a base de dados, podem-se instalar os pacotes referentes ao Spacewalk. As dependências são calculadas automaticamente e as chaves dos repositórios são também importadas automaticamente:

Listagem A.10: Comando para instalar o Spacewalk

```
1 # yum install spacewalk-postgresql
```

A.2.2 Configuração do Spacewalk

Antes de começar a utilizar o Spacewalk, é necessário efetuar alguns passos para a sua configuração. Nesta altura deve-se certificar que o *hostname* da máquina onde está a ser instalado o Spacewalk se trata de um Fully Qualified Domain Name (FQDN) que consegue ser resolvido através da rede onde vai ser utilizado o Spacewalk (p.ex.: spacewalk.fcn.pt).

Depois de instalados todos os pacotes, deve-se executar o seguinte comando para configurar o Spacewalk:

Listagem A.11: Comando para configurar o Spacewalk

```
1 # spacewalk-setup --disconnected
```

Este comando configura a base de dados, o domínio virtual do servidor HTTP Apache, gera as chaves e o certificado utilizado na interface *web* do Spacewalk, entre outros. Ao executar o comando, o utilizador terá de responder a algumas questões:

Listagem A.12: Comando para configurar o Spacewalk

```
1 Admin Email Address? admin@fcn.pt
2 Should setup configure apache's default ssl server for you (saves ↵
  ↵ original ssl.conf) [Y]? Y
3 CA certificate password? spacewalk123
4 Re-enter CA certificate password? spacewalk123
5 Organization? FCT
6 Organization Unit [spacewalk.fcn.pt]? spacewalk.fcn.pt
7 Email Address [admin@fcn.pt]? admin@fcn.pt
8 City? Lisbon
9 State? Lisbon
10 Country code (Examples: "US", "JP", "IN", or type "?" to see a list)? ↵
  ↵ PT
11 Cobbler requires tftp and xinetd services be turned on for PXE ↵
  ↵ provisioning functionality. Enable these services [Y]? N
```

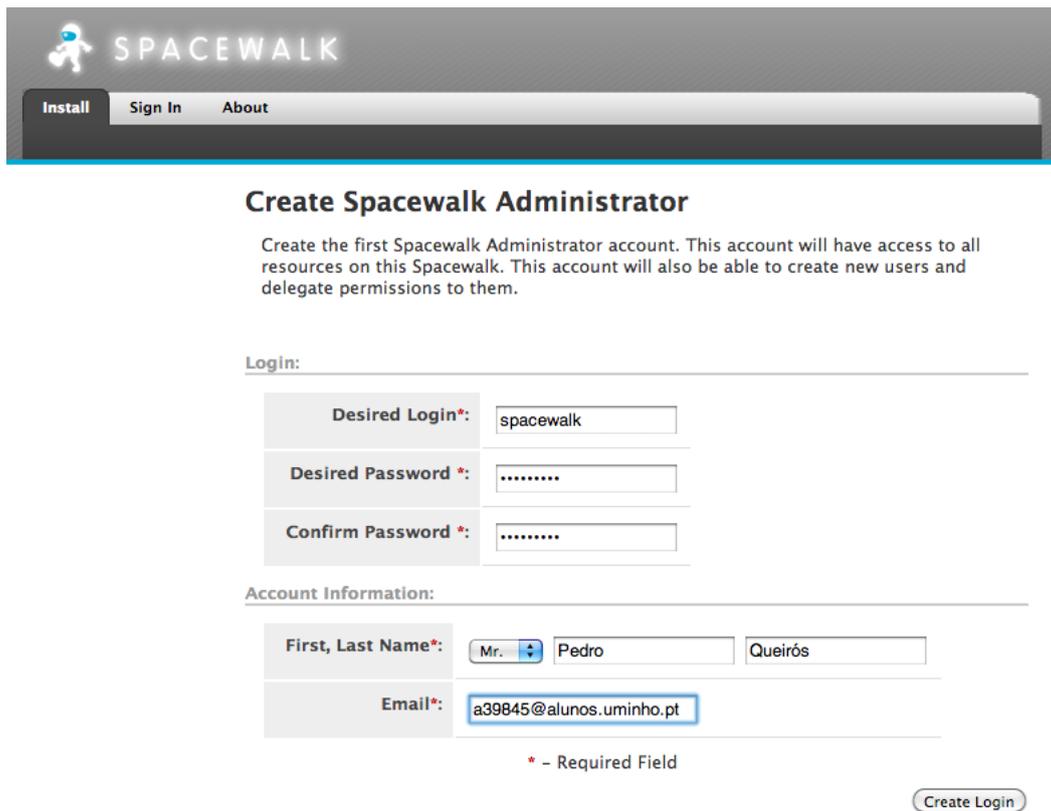
A **negrito** encontram-se exemplos de resposta às perguntas. Por favor adapte

estas durante a instalação.

Finalizada a configuração, é indicado ao utilizador o URL onde este pode começar a utilizar o Spacewalk, p.ex.: <https://spacewalk.fcn.pt>

A.2.3 Utilização do Spacewalk

Ao aceder à interface *web* do Spacewalk pela primeira vez, é apresentado o ecrã onde pode ser criada a conta de administrador, como se pode ver na figura A.1.



The screenshot shows the Spacewalk web interface. At the top, there is a navigation bar with the Spacewalk logo and the text 'SPACEWALK'. Below the logo, there are three buttons: 'Install', 'Sign In', and 'About'. The main content area is titled 'Create Spacewalk Administrator'. Below the title, there is a paragraph of text: 'Create the first Spacewalk Administrator account. This account will have access to all resources on this Spacewalk. This account will also be able to create new users and delegate permissions to them.'

The form is divided into two sections: 'Login:' and 'Account Information:'. The 'Login:' section contains three input fields: 'Desired Login*' with the value 'spacewalk', 'Desired Password*' with a masked password '.....', and 'Confirm Password*' with a masked password '.....'. The 'Account Information:' section contains two input fields: 'First, Last Name*' with a dropdown menu set to 'Mr.', a text input with 'Pedro', and another text input with 'Queirós'; and 'Email*' with the value 'a39845@alunos.uminho.pt'. Below the form, there is a legend: '* - Required Field'. At the bottom right of the form, there is a button labeled 'Create Login'.

Figura A.1: Criação da conta de administrador

Depois de criada a conta de administrador, é apresentado o ecrã com a vista geral do sistema e com a indicação para o administrador concluir a configuração do Spacewalk (figura A.2).

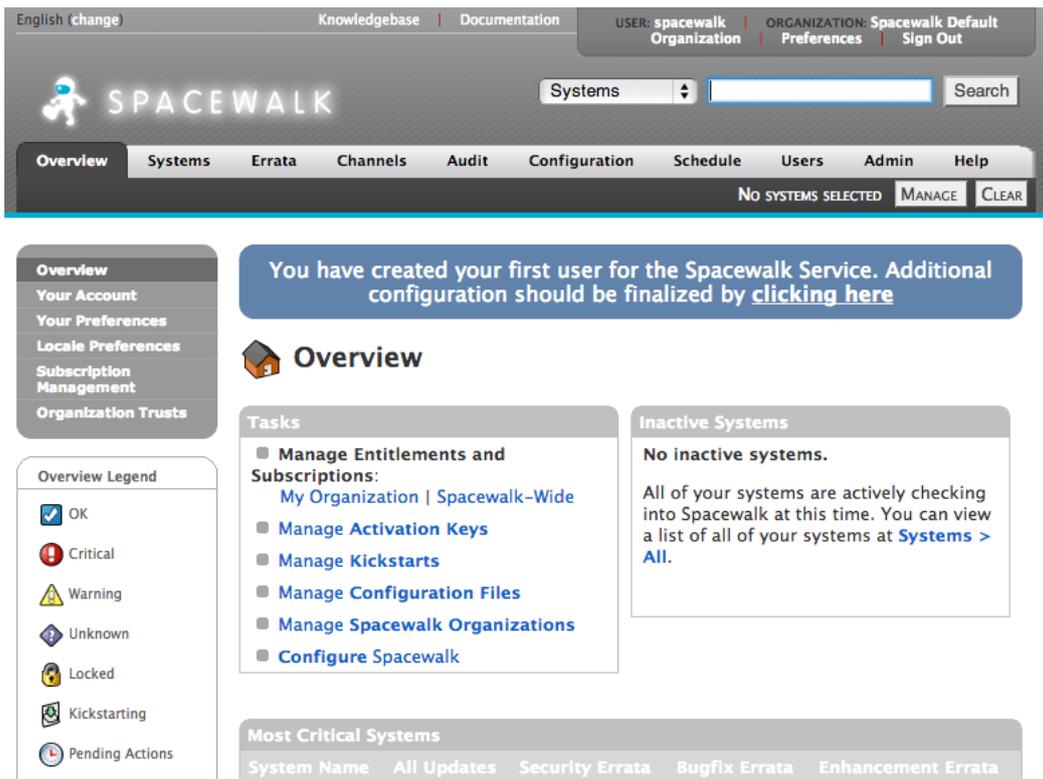


Figura A.2: Vista geral do sistema

Seguindo a indicação apresentada no ecrã inicial, podem-se configurar algumas opções do Spacewalk, sendo apresentadas nas figuras A.3, A.4 e A.5 as mais relevantes para este projeto.

The screenshot shows the 'General' configuration page for Spacewalk. At the top, there are navigation tabs: 'General' (selected), 'Monitoring', 'Certificate', 'Bootstrap Script', 'Organizations', 'Restart', and 'Cobbler'. Below the tabs is the title 'Spacewalk Configuration'. The main content area contains a table of configuration options:

Administrator Email Address*	<input type="text" value="a39845@alunos.uminho.pt"/>
Spacewalk Hostname*	<input type="text" value="satellite.fccn.pt"/>
HTTP proxy	<input type="text"/>
HTTP proxy username	<input type="text"/>
HTTP proxy password	<input type="password"/>
Confirm HTTP proxy password	<input type="password"/>
RPM repository mount point	<input type="text" value="/var/satellite"/>
Default To SSL	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Solaris Support	<input type="checkbox"/>
Disconnected Spacewalk	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Monitoring	<input checked="" type="checkbox"/>

At the bottom right of the configuration area, there is an 'Update' button.

Figura A.3: Configuração geral do Spacewalk

Spacewalk Configuration – Monitoring

After updating the configuration options below, monitoring services on this satellite and all of your Monitoring-enabled Spacewalk Proxy servers will need to be restarted. These actions will be scheduled automatically when you update this page.

General **Monitoring** Certificate Bootstrap Script Organizations Restart Cobbler

General Monitoring Config

Enable Monitoring Scout	<input checked="" type="checkbox"/>
Local mail exchanger	<input type="text" value="localhost"/>
Mail domain (e.g. 'redhat.com' for myemail@redhat.com)	<input type="text" value="fcccn.pt"/>
Spacewalk administrator email	<input type="text" value="a39845@alunos.uminho.pt"/>
Spacewalk hostname (FQDN)	<input type="text" value="fcccn.pt"/>
Spacewalk webserver port (80 for http, 443 for https)	<input type="text" value="443"/>
External protocol ('http' or 'https')	<input type="text" value="https"/>

[Update Config](#)

Figura A.4: Configuração das opções de monitorização

Canais de *software*

Após configurar o Spacewalk, é necessário criar canais de *software*, que funcionam como repositórios locais dos pacotes a instalar nas máquinas geridas pelo Spacewalk.

Existem canais principais, os quais devem conter os pacotes necessários à instalação de um sistema operativo, e canais filho, que devem conter pacotes adicionais que se desejem instalar.

Para criar um novo canal, seleccionam-se as opções *Channels* → *Manage Software Channels* → *create new channel*, no ecrã apresentado na figura A.6.

Ao seleccionar a opção *create new channel*, é apresentado o ecrã onde podem ser introduzidas as informações sobre o canal a criar. Nas figuras A.7 e A.8 são apresentadas as informações necessárias à criação de um canal principal com os pacotes necessários à instalação de um sistema operativo CentOS 6, versão 64 bits.

- Organizations
- Subscriptions
- Users
- Spacewalk Configuration**
- General
- Monitoring
- Certificate
- Bootstrap Script**
- Organizations
- Restart
- Cobbler
- Task Schedules
- Task Engine Status
- Show Tomcat Logs

Spacewalk Configuration – Bootstrap

The following information will be used to generate bootstrap scripts. These bootstrap scripts can be used to configure a client to use this Spacewalk to receive updates. Once the bootstrap scripts have been generated, they will be available from [this server](#).

Please note that some manual configuration of these scripts may still be required. The bootstrap script can be found on the Spacewalk Server's filesystem here: `/var/www/html/pub/bootstrap`

[General](#)
[Monitoring](#)
[Certificate](#)
[Bootstrap Script](#)
[Organizations](#)
[Restart](#)
[Cobbler](#)

Client Bootstrap Script Configuration

Spacewalk server hostname*:	<input type="text" value="focn.pt"/>
SSL cert location*:	<input type="text" value="/var/www/html/pub/RHN-ORG-TRUSTED-S"/>
Enable SSL	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Client GPG checking	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Remote Configuration	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Remote Commands	<input checked="" type="checkbox"/>
Client HTTP Proxy	<input type="text"/>
Client HTTP Proxy username	<input type="text"/>
Client HTTP Proxy password	<input type="text"/>

[Update](#)

Figura A.5: Configuração das opções de *bootstrap*

Software Channel Management

[+ create new channel](#)
[- clone channel](#)

The following software channels are owned by your organization.

Modify an existing software channel by selecting it from the list below, or create a new software channel.

Channel Name	Packages
No channels found.	

Figura A.6: Configuração dos canais de *software*

Create Software Channel

Details

Basic Channel Details

Create or edit software channels from this page.

If the parent channel is set to 'none', the channel is a base channel. Otherwise, the channel is a child of the specified channel.

Channel name and label are required. They each must be at least 6 characters in length. Labels must begin with a letter, contain only lowercase letters, hyphens ('-'), periods ('.'), underscores ('_'), and numerals. Channel name may also contain spaces and forward slashes ('/').

Channel summary is also required.

Channel Name*:	<input type="text" value="CentOS 6.4 x86_64"/>
Channel Label*:	<input type="text" value="centos-6.4-x86_64"/>
Parent Channel:	<input type="text" value="None"/>
Architecture:	<input type="text" value="x86_64"/>
Yum Repository Checksum Type:	<input type="text" value="sha256"/> <small>Tip: sha1 offers the widest compatibility with clients. sha-256 offers higher security, but is compatible only with newer clients: Fedora 11 and newer, or Enterprise Linux 6 and newer.</small>
Channel Summary*:	<input type="text" value="CentOS 6.4 Base 64 bits packages"/>
Channel Description:	<input type="text" value="CentOS 6.4 Base 64 bits packages"/>

Figura A.7: Criação de um canal principal - exemplo de configuração

Channel Access Control

Per-User Subscription Restrictions:	<input checked="" type="radio"/> All users within your organization may subscribe to this channel. <input type="radio"/> Only selected users within your organization may subscribe to this channel.
Organization Sharing	<input checked="" type="radio"/> This channel is private and cannot be accessed by any other organization. <input type="radio"/> This channel is protected and may only be accessed by specific trusted organizations . <input type="radio"/> This channel is public and may be accessed by any of the trusted organizations trusted by this organization.

Security: GPG

GPG key URL:	<input type="text" value="http://mirror.centos.org/centos/RPM-GPG-KEY-Cent"/>
GPG key ID:	<input type="text" value="C105B9DE"/> <small>Ex: DB42A60E</small>
GPG key Fingerprint:	<input type="text" value="C1DA C52D 1664 E8A4 386D BA43 0946 FCA2 C105 B9DE"/> <small>Ex: CA20 8686 2BD6 9DFC 65F6 ECC4 2191 80CD DB42 A60E</small>

[Create Channel](#)

Figura A.8: Criação de um canal principal - exemplo de configuração

A chave GNU Privacy Guard (GPG) deve ser configurada para assegurar a correta instalação dos pacotes através do canal. As chaves podem ser obtidas através dos repositórios, encontrando-se normalmente na raiz dos mesmos.

Para obter o *ID* e o *Fingerprint* da chave GPG, pode-se fazer o *download* da chave e utilizar o comando `gpg --with-fingerprint NOME-DA-CHAVE`, como demonstrado na figura A.9.

```
[root@perfonar-tmp4 KEYS]# gpg --with-fingerprint RPM-GPG-KEY-CentOS-6
pub 4096R/C105B9DE 2011-07-03 CentOS-6 Key (CentOS 6 Official Signing Key)
<centos-6-key@centos.org>
Key fingerprint = C1DA_C52D 1664 E8A4 386D BA43 0946 FCA2 C105 B9DE
```

Figura A.9: Obtenção do *ID* e *Fingerprint* da chave GPG

Depois de criado o canal, deve-se adicionar um repositório externo a partir do qual o canal será populado. Para isso, selecionam-se as opções *Channels* → *Manage Software Channels* → *Manage Repositories*. Nesse ecrã é apresentada a opção de adicionar um novo repositório, como se pode ver na figura A.10.

Repositories create new repository

Use repositories to sync additional packages to your channels. Repositories may be linked to your channels.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Filter by Label: Go Display items per page 1 - 7 of 7

Label	Channels
CentOS 6.4 64 bits - NFSI	1
CentOS 6.4 extras 64 bits - NFSI	0
CentOS 6.4 updates 64 bits - NFSI	0
EPEL 6 64 bits - UV	1
Internet2 RPMs 64 bits	1
Internet2 Web100 64 bits	1
Spacewalk 1.9 64 bits	1

1 - 7 of 7

Figura A.10: Lista de repositórios e opção de criar um novo repositório

Ao seleccionar a opção *create new repository*, é apresentado o ecrã onde se pode introduzir a informação sobre o repositório, nomeadamente o URL e o nome do mesmo (figura A.11).

Create New Repository

Create Repository

Repository Label*

Repository URL*

Create Repository

Figura A.11: Criação de um novo repositório

Para este projeto devem-se criar os seguintes repositórios, para utilizar a versão 64 bits dos pacotes:

- CentOS 6.4 - http://mirrors.nfsi.pt/CentOS/6.4/os/x86_64/
- EPEL 6 - http://mirror.uv.es/mirror/fedora-epel/6/x86_64/
- Internet2 RPMs - http://software.internet2.edu/rpms/el6/x86_64/main/

- Internet2 Web100 - http://software.internet2.edu/web100_kernel/rpms/el6/x86_64/main/
- Spacewalk Client 1.9 - http://spacewalk.redhat.com/yum/1.9-client/RHEL/6/x86_64/

Depois de configurar o repositório, é necessário sincronizar o canal com o repositório. Para isso, basta seleccionar as opções *Manage Software Channels* → *nome-do-canal* → *Repositories*. Neste ecrã (figura A.12) é apresentada a lista de repositórios existentes e podem-se seleccionar aqueles que se devem utilizar para sincronizar com o canal.

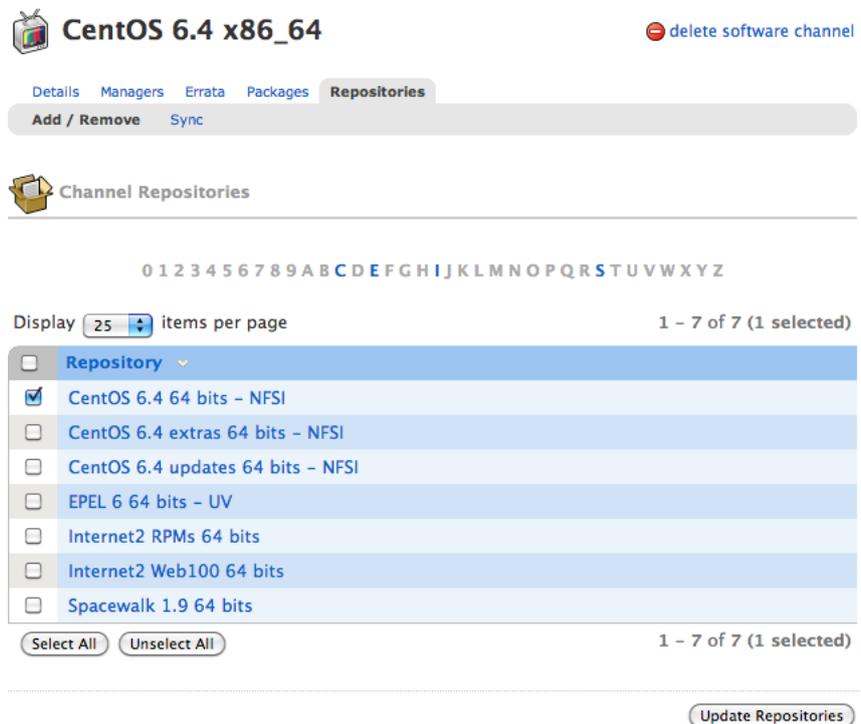


Figura A.12: Selecção dos repositórios a sincronizar

Seleccionando os repositórios, deve-se escolher a opção *Update Repositories* e de seguida a opção *Sync*. Será apresentada a opção de iniciar a sincronização imediatamente ou sob agendamento, como se pode ver na figura A.13.

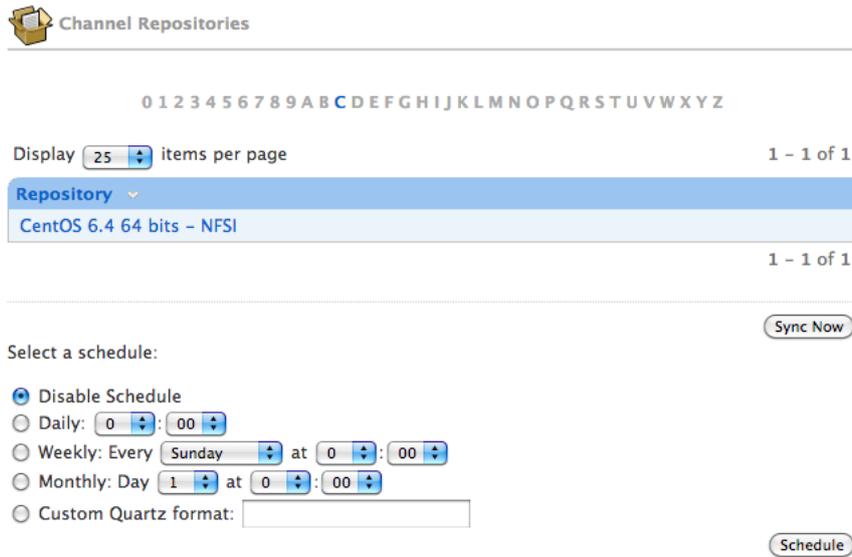


Figura A.13: Sincronização do canal com os repositórios

Depois de iniciada a sincronização, pode-se acompanhar o seu progresso selecionando a opção *Last Sync Time* nos detalhes do canal (figuras A.14 e A.15).



Details Managers Errata Packages Repositories

Basic Channel Details

Create or edit software channels from this page.

If the parent channel is set to 'none', the channel is a base channel. Otherwise, the channel is a child of the specified channel.

Channel name and label are required. They each must be at least 6 characters in length. Labels must begin with a letter, contain only lowercase letters, hyphens ('-'), periods ('.'), underscores ('_'), and numerals. Channel name may also contain spaces and forward slashes ('/').

Channel summary is also required.

Channel Name*:	CentOS 6.4 x86_64
Channel Label*:	centos-6.4-x86_64
Parent Channel:	None
Architecture:	x86_64
Yum Repository Checksum Type:	sha256
	<small>Tip: sha1 offers the widest compatibility with clients. sha-256 offers higher security, but is compatible only with newer clients: Fedora 11 and newer, or Enterprise Linux 6 and newer.</small>
Channel Summary*:	CentOS 6.4 Base 64 bits packages
Channel Description:	CentOS 6.4 Base 64 bits packages
Last Sync Time:	2013-07-16 11:40:27 BST

Figura A.14: Detalhes do canal

```

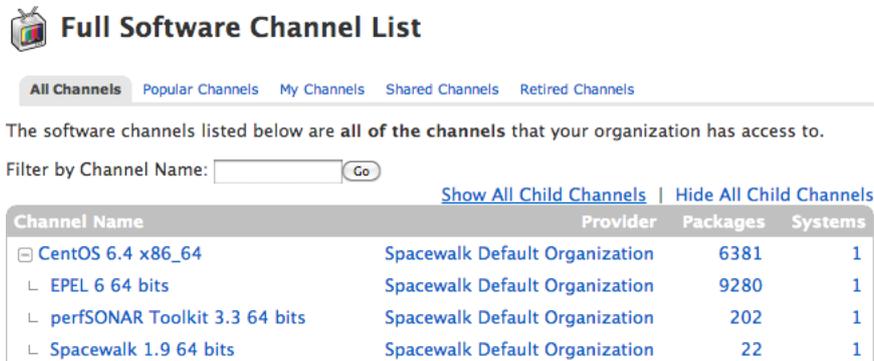
Sync started: Tue Jul 16 11:15:52 2013
['/usr/bin/spacewalk-repo-sync', '--channel', 'centos-6.4-x86_64', '--type', 'yum']
Repo URL: http://mirrors.nfsi.pt/CentOS/6.4/os/x86_64/
Packages in repo:          6381
Packages already synced:    0
Packages to sync:          6381
1/6381 : migrationtools-47-7.el6-0.noarch
2/6381 : gutenprint-plugin-5.2.5-2.el6-0.x86_64
3/6381 : perl-Module-Install-0.91-4.el6-0.noarch
4/6381 : libmatchbox-1.9-6.1.el6-0.x86_64
5/6381 : ipa-server-3.0.0-25.el6-0.x86_64
6/6381 : nautilus-devel-2.28.4-19.el6-0.x86_64
7/6381 : ocaml-3.11.2-2.el6-0.x86_64
8/6381 : libpst-libs-0.6.44-1.el6-0.x86_64
9/6381 : glade3-3.6.7-2.1.el6-0.x86_64
10/6381 : kde-i18n-Ukrainian-3.5.10-11.el6-1.noarch
11/6381 : libtdb-devel-1.2.10-1.el6-0.x86_64
12/6381 : m17n-db-khmer-1.5.5-1.1.el6-0.noarch
13/6381 : kdesdk-utils-4.3.4-4.el6-0.x86_64

```

Figura A.15: Amostra do log de sincronização do canal

Finalizada a sincronização do canal, é possível utilizar este para instalar pacotes em máquinas geridas pelo Spacewalk.

Para este projeto, devem-se criar os seguintes canais:



Full Software Channel List

All Channels Popular Channels My Channels Shared Channels Retired Channels

The software channels listed below are **all of the channels** that your organization has access to.

Filter by Channel Name:

[Show All Child Channels](#) | [Hide All Child Channels](#)

Channel Name	Provider	Packages	Systems
<input checked="" type="checkbox"/> CentOS 6.4 x86_64	Spacewalk Default Organization	6381	1
<input type="checkbox"/> L EPEL 6 64 bits	Spacewalk Default Organization	9280	1
<input type="checkbox"/> L perfSONAR Toolkit 3.3 64 bits	Spacewalk Default Organization	202	1
<input type="checkbox"/> L Spacewalk 1.9 64 bits	Spacewalk Default Organization	22	1

Figura A.16: Lista de canais criados no Spacewalk

- CentOS 6.4 x86_64 - canal principal, com os pacotes base do CentOS (sincronizar com o repositório CentOS 6.4 64 bits)
- EPEL 6 64 bits - canal filho, com os pacotes do repositório EPEL (sincronizar com o repositório EPEL 6 64 bits)
- perfSONAR Toolkit 3.3 64 bits - canal filho, com os pacotes do perfSONAR Toolkit (sincronizar com os repositórios Internet2 RPMs 64 bits e Internet2 Web100 64 bits)
- Spacewalk 1.9 64 bits - canal filho, com os pacotes do cliente Spacewalk (sincronizar com o repositório Spacewalk 1.9 64 bits)

Chaves de ativação

As chaves de ativação permitem registar sistemas no Spacewalk. Os sistemas registados com uma chave de ativação herdam as características dessa chave, que podem ser definidas no GUI do Spacewalk, como os canais de pacotes e configuração a subscrever, os pacotes que devem estar instalados e os grupos a que pertencem os sistemas registados com essa chave.

Para criar uma chave de ativação, seleciona-se a opção *Systems* → *Activation Keys* → *create new key* (figura A.17).

Activation Keys

[+ create new key](#)

Activation Keys are used to register systems. Systems registered with an activation key will inherit the characteristics defined by that key.

Universal Default

If a universal default activation key is set for your organization, then systems registered to your organization will inherit the properties of that key by default without the need to explicitly specify that key during registration.

You do not currently have a universal default activation key set. To set a key as the universal default, please visit the details page of that key and check off the 'Universal Default?' checkbox.

All Activation Keys

The following activation keys have been created for use by your organization.

Description	Key	Usage
No activation keys available		

*Tip: This key is your organization's universal default activation key.

Figura A.17: Lista de chaves de ativação

Na figura A.18 demonstram-se as opções a preencher aquando a criação de uma nova chave de ativação.

Systems registered with this activation key will inherit the settings listed below.

Description	<input type="text" value="Default key"/> <small>Tip: Use this to describe what kind of settings this key will reflect on systems that use it. If left blank, this field will be filled in "None".</small>
Key:	1- <input type="text" value="default"/> <small>Tip: Leave blank for automatic key generation. Note that the prefix is an indication of the Spacewalk organization the key is associated with.</small>
Usage:	<input type="text"/> <small>Tip: Leave blank for unlimited use.</small>
Base Channels:	<input type="text" value="CentOS 6.4 x86_64"/>  <small>Tip: Choose "Spacewalk Default" to allow systems to register to the default Red Hat provided channel that corresponds to their installed version of Red Hat Enterprise Linux. You may also choose particular Red Hat provided channels or custom base channels here, but please note if a system using this key is not compatible with the selected channel, it will fall back to its Red Hat default channel.</small>
Add-On Entitlements:	<input checked="" type="checkbox"/> Monitoring <input checked="" type="checkbox"/> Provisioning <input type="checkbox"/> Virtualization <input type="checkbox"/> Virtualization Platform
Universal Default:	<input checked="" type="checkbox"/> <small>Tip: Only one universal default activation key may be set for this organization. By setting this key as universal default, you will remove universal default status from the current universal default key if it exists. If this key is set as universal default, then newly-registered systems to your organization will inherit the properties of this key.</small>

[Create Activation Key](#)

Figura A.18: Criação de uma nova chave de ativação

Após a criação da chave de ativação, podem-se selecionar mais opções a serem herdadas pelos sistemas registrados com esta chave de ativação, como os pacotes a serem instalados, os grupos a que pertencem os sistemas, os canais de configuração, e os canais filho a subscrever (figura A.19).

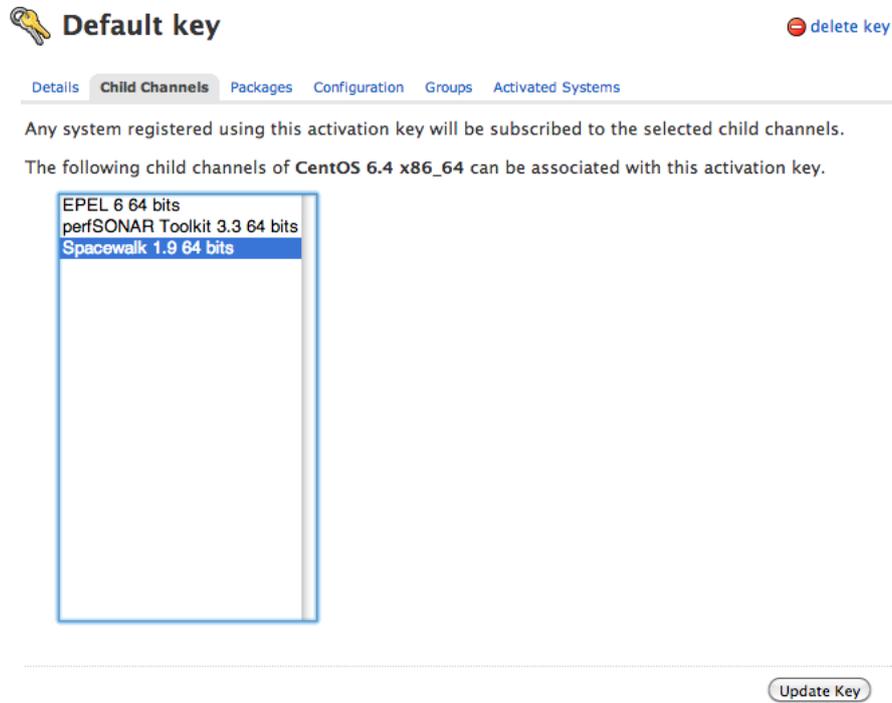


Figura A.19: Canais filho a subscrever

Chaves GPG e Secure Sockets Layer (SSL)

Depois de criar os canais de *software*, o utilizador deve importar as chaves GPG dos repositórios que foram sincronizados com os canais criados, de forma a permitir a correta verificação e instalação dos pacotes presentes nos canais.

Para isso, deve-se seleccionar a opção *Systems* → *Kickstart* → *GPG and SSL keys* → *create new stored key/cert* (figura A.20).

GPG Public Keys and SSL Certificates [create new stored key/cert](#)

You can refer to these keys and/or certificates in your kickstart profiles in order to install those keys/certificates on systems during a kickstart. A system will need the correct keys to install signed packages, and correct certificate to be kickstarted by an Spacewalk Proxy Server or Spacewalk Server. For more information, see the [RHN Reference Guide](#)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Display items per page 1 - 5 of 5

Description	Type
RHN-ORG-TRUSTED-SSL-CERT This key/cert will be copied over to newly created organizations.	SSL
RPM-GPG-KEY-CentOS-6	GPG
RPM-GPG-KEY-EPEL-6	GPG
RPM-GPG-KEY-Internet2	GPG
RPM-GPG-KEY-spacewalk-2012	GPG

1 - 5 of 5

Figura A.20: Chaves GPG e SSL

Depois, basta introduzir um nome para a chave e seleccionar a chave (previamente descarregada para o computador), como se pode verificar na figura A.21

Para este projeto, devem ser importadas as chaves dos repositórios CentOS 6, EPEL 6, Internet2 e Spacewalk.

Canais de configuração

Os canais de configuração permitem a distribuição de ficheiros de configuração pelos sistemas que fazem parte do mesmo canal. Para criar um canal, selecciona-se a opção *Configuration* → *Configuration Channels* → *create new config channel* (figura A.22).

Ao criar um novo canal de configuração, devem-se preencher os dados demonstrados na figura A.23.

Depois de criar o canal, devem-se adicionar (figura A.24) ou criar (figura A.25) ficheiros de configuração.

- Overview
- Systems
- System Groups
- System Set Manager
- Advanced Search
- Activation Keys
- Stored Profiles
- Custom System Info
- Kickstart**
- Profiles
- Bare Metal
- GPG and SSL Keys**
- Distributions
- File Preservation
- Kickstart Snippets

Create GPG/SSL Key

Please enter the information for your key in the form provided below. Entries marked with an (*) are required and must be unique.

Create Key

Description*	<input type="text" value="RPM-GPG-KEY-CentOS-6"/>
Type	<input type="button" value="GPG"/> <input type="button" value="+"/>
Select file to upload: *	<input type="button" value="Choose File"/> RPM-GPG-KEY-CentOS-6
Key contents:	Neither a GPG or SSL Certificate is currently attached to this cryptokey. Please attach a GPG key or SSL Certificate to this crypto key using the form above.

Figura A.21: Criação de uma nova chave

- Overview
- Configuration Channels**
- Configuration Files
- Systems

Centrally Managed Configuration Channels create new config channel

The configuration channels listed below are **centrally-managed**. This means that any system registered to Spacewalk can subscribe to the configuration channels below. Any changes made to the files within one of these channels will affect every system subscribed to that channel.

No configuration channels

Figura A.22: Canais de configuração

- Overview
- Configuration Channels**
- Configuration Files
- Systems

New Config Channel

You must enter the configuration channel details below.

Name*	<input type="text" value="RCTS"/>
Label*	<input type="text" value="rcts-probes"/>
Description*	<input style="border: 2px solid blue;" type="text" value="RCTS probes common configuration files"/>

Figura A.23: Criação de um novo canal de configuração



Upload New Configuration File

File to Upload * :	<input type="button" value="Choose File"/> No file chosen <small>Tip: Please note that the maximum allowed size for configuration files is 128 KB.</small>
File Type:	<input checked="" type="radio"/> Text file <input type="radio"/> Binary file
Filename/Path * :	<input type="text"/>
Ownership:	User name *: <input type="text" value="root"/> Group name *: <input type="text" value="root"/> <small>Tip: If the user and/or group indicated here does not exist on system(s) to which this file is deployed, the deploy will fail.</small>
File Permissions Mode * :	<input type="text" value="644"/> <small>Tip: '644' for text files and '755' for directories and executables will allow global access or execution (but not modification).</small>
SELinux context	<input type="text"/> <small>Tip: Enter SELinux context like: user_u:role_r:type_t:s0-s15:c0.c1024 (Note: you don't have to enter all parts)</small>
Macro Delimiters * :	Start Delimiter: <input type="text" value="{"/> End Delimiter: <input <="" td="" type="text" value="}"/>

Figura A.24: Adicionar um ficheiro de configuração

Create New Configuration File

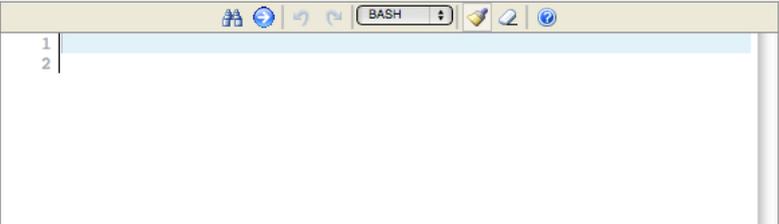
File Type:	<input checked="" type="radio"/> Text file <input type="radio"/> Directory <input type="radio"/> Symbolic link
Filename/Path *:	<input type="text"/>
Symbolic Link Target Filename/Path *:	<input type="text"/>
Ownership:	User name *: <input type="text" value="root"/> Group name *: <input type="text" value="root"/> <small>Tip: If the user and/or group indicated here does not exist on system(s) to which this file is deployed, the deploy will fail.</small>
File Permissions Mode *:	<input type="text" value="644"/> <small>Tip: '644' for text files and '755' for directories and executables will allow global access or execution (but not modification).</small>
SELinux context	<input type="text"/> <small>Tip: Enter SELinux context like: user_u:role_r:type_t:s0-s15:c0.c1024 (Note: you don't have to enter all parts)</small>
Macro Delimiters *:	Start Delimiter: <input type="text" value="{"/> End Delimiter: <input <="" td="" type="text" value="}"/>
File Contents:	

Figura A.25: Criação de um ficheiro de configuração

Neste projeto, é desejável gerir centralmente os seguintes ficheiros:

1. */etc/ntp.conf* - contém a configuração do NTP, nomeadamente quais os servidores a utilizar
2. */etc/sysconfig/rhn/osad.conf* - contém a configuração do cliente OSAD
3. */var/lib/nocpulse/.ssh/authorized_keys* - contém as chaves públicas dos computadores autorizados a aceder a esta máquina (com o utilizador *nocpulse*) através da autenticação por chave pública / chave privada
4. */etc/yum.repos.d/CentOS-Base.repo* - contém a configuração do repositório base do CentOS
5. */etc/yum.repos.d/Internet2.repo* - contém a configuração do repositório base da Internet2
6. */etc/yum.repos.d/Internet2-web100_kernel.repo* - contém a configuração do repositório com o kernel Web100 da Internet2
7. */etc/yum.repos.d/epel.repo* - contém a configuração do repositório EPEL
8. */opt/perfsonar_ps/toolkit/etc/enabled_services* - contém a configuração dos serviços do perfSONAR-PS

No caso do ficheiro 1, deve-se incluir a configuração dos servidores NTP a utilizar para efetuar a sincronização temporal entre todas as sondas. No ficheiro 2 deve ser incluído o caminho para o certificado SSL do servidor do *Spacewalk*, e no ficheiro 3 deve-se configurar a chave pública do servidor *Spacewalk*. Para os ficheiros 4, 5, 6 e 7, é desejável desativar estes repositórios, para que todos os pacotes a instalar nas sondas sejam fornecidos apenas pelo servidor *Spacewalk*. Finalmente, no ficheiro 8, devem-se ativar apenas os serviços relacionados com as medições de *one-way delay*. Exemplos destes ficheiros podem ser encontrados nos apêndices B, C, D, E, F, G, H e I.

Kickstart

De forma a ser possível fazer o kickstart de um sistema operativo, primeiro é necessário criar uma distribuição. Para isso, faz-se o *download* para o sistema onde está instalado o *Spacewalk* do ISO do primeiro DVD da distribuição utilizada (CentOS 6.4), com o comando:

Listagem A.13: Comando para fazer o *download* do DVD

```
1 # wget http://mirrors.nfsi.pt/CentOS/6.4/isos/x86_64/CentOS-6.4-x86_64-2
   ↪ bin-DVD1.iso
```

De seguida, criam-se as diretorias `/var/distro-trees/centos-6.4-x86_64` e `/mnt/disk/`:

Listagem A.14: Comandos para criar as diretorias

```
1 # mkdir -p /var/distro-trees/centos-6.4-x86_64
2 # mkdir -p /mnt/disk
```

Depois monta-se a imagem do DVD na diretoria criada:

Listagem A.15: Comandos para criar as diretorias

```
1 # mount -o loop CentOS-6.4-x86_64-bin-DVD1.iso /mnt/disk/
```

Entrando na diretoria criada, copiam-se as pastas *images*, *isolinux* e *repodata* para a outra diretoria criada:

Listagem A.16: Comandos para copiar as pastas

```
1 # cd /mnt/disk/
2 # cp -R images/ /var/distro-trees/centos-6.4-x86_64/
3 # cp -R isolinux/ /var/distro-trees/centos-6.4-x86_64/
4 # cp -R repodata/ /var/distro-trees/centos-6.4-x86_64/
```

Para finalizar, na interface *web* seleciona-se a opção *Systems* → *Kickstart* → *Distributions* → *create new distribution*, como se pode ver na figura A.26.

No ecrã apresentado na figura A.27 preenchem-se as opções referentes à distribuição criada. De salientar o parâmetro *Tree Path*, onde se encontram as diretorias previamente copiadas do DVD do CentOS 6.4.

- Overview
- Systems
- System Groups
- System Set Manager
- Advanced Search
- Activation Keys
- Stored Profiles
- Custom System Info
- Kickstart**
- Profiles
- Bare Metal
- GPG and SSL Keys
- Distributions
- File Preservation
- Kickstart Snippets

Kickstartable Distributions + create new distribution

The following kickstart distributions are available.

Label	Base Channel	Valid?*
No kickstartable distributions available.		

Tip: *-Kickstart distributions may be invalid due wrong or non existent base path to the kernel or initrd image. To make your custom distribution valid please select the distribution and modify its base path appropriately.

Figura A.26: Lista das distribuições

Create Kickstart Distribution

Distribution Label*:	<input type="text" value="centos-6.4-x86_64"/>
Tree Path*:	<input type="text" value="/var/distro-trees/centos-6.4-x86_64/"/>
Base Channel*:	<input type="text" value="CentOS 6.4 x86_64"/>
Installer Generation*:	<input type="text" value="Red Hat Enterprise Linux 6"/>
Kernel Options:	<input type="text"/>
Post Kernel Options:	<input type="text"/>

Figura A.27: Criação de uma nova distribuição

Depois de criada a distribuição, podem-se criar perfis de *kickstart*. Para isso, seleciona-se a opção *Systems* → *Kickstart* → *Profiles* → *create new kickstart profile*. Também é possível fazer o *upload* de um ficheiro de *kickstart* existente para criar um novo perfil, como demonstrado na figura A.28.



Figura A.28: Lista de perfis de *kickstart*

Ao criar um novo perfil, são necessários 3 passos, demonstrados nas figuras A.29, A.30 e A.31.

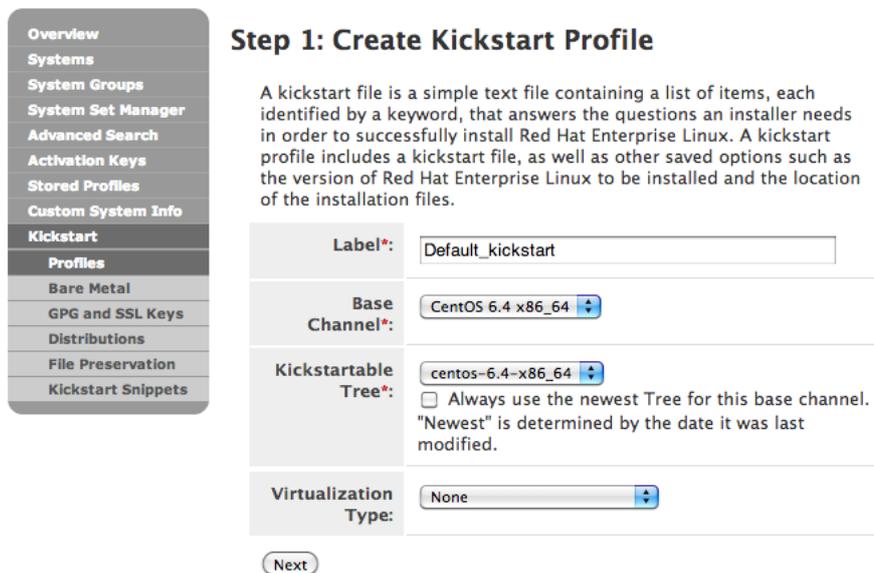


Figura A.29: Primeiro passo na criação de um perfil de *kickstart*

- Overview
- Systems
- System Groups
- System Set Manager
- Advanced Search
- Activation Keys
- Stored Profiles
- Custom System Info
- Kickstart**
- Profiles
- Bare Metal
- GPG and SSL Keys
- Distributions
- File Preservation
- Kickstart Snippets

Step 2: Distribution File Location

In order to install Red Hat Enterprise Linux during kickstart, the Red Hat Enterprise Linux installation files must be available to the kickstarting system via network connection. You can make these available either via http or ftp.

Default Download Location:

Custom Download Location:

Previous
Next

Figura A.30: Segundo passo na criação de um perfil de *kickstart*

- Overview
- Systems
- System Groups
- System Set Manager
- Advanced Search
- Activation Keys
- Stored Profiles
- Custom System Info
- Kickstart**
- Profiles
- Bare Metal
- GPG and SSL Keys
- Distributions
- File Preservation
- Kickstart Snippets

Step 3: Root Password

The kickstart profile will need to have a root password for the system(s) to be kickstarted in order to complete the kickstart process.

New Root Password*:

Verify New Root Password*:

Previous
Finish

Figura A.31: Terceiro passo na criação de um perfil de *kickstart*

Depois de criado o perfil, é possível editar todas as opções do *kickstart* através da interface *web* do Spacewalk. Na figura A.32 podem-se ver algumas dessas opções, nomeadamente a possibilidade de especificar parâmetros a serem passados ao *kernel* do sistema operativo, que permitirão configurar a interface de rede da máquina a fazer *kickstart*. Para isso, devem-se usar os seguintes parâmetros:

Listagem A.17: Exemplo de parâmetros a passar ao *kernel*

```
1 gateway = 1.2.3.4 dns = 1.2.3.5 netmask = 255.255.255.240 ip = 1.2.3.1
```

The screenshot shows the 'Kickstart: kickstart-test' configuration page. At the top, there are tabs for 'Kickstart Details', 'System Details', 'Software', 'Activation Keys', 'Scripts', and 'Kickstart File'. Below these are sub-tabs for 'Details', 'Operating System', 'Variables', 'Advanced Options', and 'Bare Metal Kickstart'. The 'Kickstart Details' section is active, showing a form with the following fields:

- Kickstart Label*:** A text input field containing 'kickstart-test'. A tip below it states: 'Tip: The label field should not be easily guessable, since it could be used to expose information about this kickstart profile to a 3rd party.'
- Operating System:** A dropdown menu showing 'CentOS 6.4 x86_64 (Change)'.
- Virtualization Type:** A dropdown menu showing 'None'. A note below it says: 'NOTE: Changing the Virtualization Type may require changes to the kickstart profile's bootloader and partition options, potentially overwriting user customizations. Please visit the Partitioning tab to verify the new settings.'
- Active:** A checkbox that is checked. The text next to it reads: 'You cannot kickstart a system registered to Spacewalk using an inactive kickstart profile. However, the kickstart files for inactive kickstart profiles are still available for manual download and may be used for bare metal kickstarts.'
- Log custom post scripts:** A checked checkbox with the text: 'If selected, all output of custom post scripts will be logged to /root/ks-post.log.'
- Log custom pre scripts:** A checked checkbox with the text: 'If selected, all output of pre scripts will be logged to /root/ks-pre.log.'
- Preserve ks.cfg:** A checked checkbox with the text: 'If selected, ks.cfg and all %include fragments will be copied to /root.'
- Organization Default Profile:** An unchecked checkbox with the text: 'The Organization Default Profile setting can be used with manually-created or bare-metal kickstart files. Select this option to indicate which profile in your Organization is used when the URL from this link is specified in the ks= section of your kickstart file. The link will not work unless an Organization Default is specified.'
- Kernel Options:** A text input field containing 'gateway=' followed by a small table of IP addresses and 'dns=' followed by another small table of IP addresses.

Figura A.32: Opções do *kickstart*

Na opção *Kickstart Details* → *Operating System* devem-se seleccionar os canais filho que contêm os pacotes que se desejam instalar (figura A.33).

 **Kickstart: kickstart-test** [clone kickstart](#) [delete kickstart](#)

Kickstart Details | [System Details](#) | [Software](#) | [Activation Keys](#) | [Scripts](#) | [Kickstart File](#)

[Details](#) | **Operating System** | [Variables](#) | [Advanced Options](#) | [Bare Metal Kickstart](#)

Modify Operating System

You can modify the software this kickstart profile will deploy below.

Base Channel*:	CentOS 6.4 x86_64 
<small>Tip: Changing the base channel will require you to reselect any child channels that may be associated with this profile.</small>	
Child Channels*:	<input checked="" type="checkbox"/> ps-toolkit-3.3-x86_64 <input checked="" type="checkbox"/> spcw-client-1.9-x86_64 <input checked="" type="checkbox"/> epel-6-x86_64
<small>Warning: If any activation keys are associated with this kickstart profile (under the activation keys tab), the child channel subscriptions above will be overridden. In that situation please use an activation key to specify child channel subscriptions.</small>	
Available Trees*:	centos-6.4-x86_64 
<input type="checkbox"/> Always use the newest Tree for this base channel. "Newest" is determined by the date it was last modified.	
Software URL:	/ks/dist/org/1/centos-6.4-x86_64

[Update Kickstart](#)

Figura A.33: Opções do *kickstart*

Em *Kickstart Details* → *Advanced Options* é possível especificar todas as opções que devem constar no ficheiro de *kickstart*. A interface oferece algumas das opções mais conhecidas (exemplo na figura A.34), mas também uma caixa de texto onde se podem especificar manualmente outras opções.

Advanced Options

You may wish to modify the following options for special-case kickstart scenarios. We recommend consulting the Red Hat Enterprise Linux System Administration Guide for detailed documentation of all of these options.

auth*:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="--enablemd5 --enablesshadow"/>
autopart:	<input type="checkbox"/>	
autostep:	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
bootloader*:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="--location mbr"/>
cdrom:	<input type="checkbox"/>	
clearpart:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="--all --initlabel"/>
cmdline:	<input type="checkbox"/>	
device:	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Figura A.34: Opções do *kickstart*

Para este projeto devem ser selecionadas, neste ecrã, as seguintes opções (algumas destas opções são configuráveis noutras secções, demonstradas mais à frente neste manual):

- auth: --enablemd5 --enablesshadow
- bootloader: --location mbr
- clearpart: --all --initlabel
- firewall: --disabled
- install
- keyboard: pt-latin1
- lang: en_US
- network: --bootproto=static --ip=1.2.3.1 --netmask=255.255.255.240 --gateway=1.2.3.254 --nameserver=1.1.1.2

- reboot
- rootpw: (configurável)
- selinux: `-disabled`
- skipx
- text
- timezone: `-utc Europe/Lisbon`
- url: `-url /var/distro-trees/centos-6.4-x86_64/`
- zerombr

Em *Kickstart Details* → *Bare Metal Kickstart* deve-se adicionar o IP da máquina a que diz respeito este perfil de *kickstart*. Este IP deve ser o mesmo que consta nas opções de rede especificadas anteriormente. Isto permite utilizar um URL genérico para aceder ao ficheiro de *kickstart*, e o *Spacewalk* decidirá, conforme o IP da máquina que requisita o ficheiro de *kickstart*, qual o perfil de *kickstart* a ser utilizado.

Na opção *System Details* → *Details* é possível configurar o SELinux, a possibilidade de permitir a distribuição de ficheiros de configuração e a execução de comandos remotos, bem como especificar a palavra-passe de *root* (figura A.36).



Kickstart: kickstart-test

[clone kickstart](#) [delete kickstart](#)

Kickstart Details System Details Software Activation Keys Scripts Kickstart File

Details Operating System Variables Advanced Options **Bare Metal Kickstart**

Bare Metal Kickstart

In order to kickstart "bare metal systems", you will need to provide them with a boot image that is compatible with the version of the operating system you are kickstarting to via boot CD.

Once these systems have booted using the appropriate image, you will need to provide a kickstart file. You may use the following URL in your Boot CD or in your PXE configuration to provide these systems with the kickstart file associated with this kickstart profile:

<http://perfsonar-tmp4.sonar.fccn.pt/ks/cfg/org/1/label/kickstart-test>

Resource: The RHN Reference Guide Kickstart section

IP Address-Based Bare Metal Kickstart URL

Alternatively, you may associate each of your kickstart profiles with particular ip ranges. Then, you can provide bare metal systems with a single URL that will provide each system the kickstart file associated with its IP Address. Below you will find this URL:

http://perfsonar-tmp4.sonar.fccn.pt/ks/cfg/org/1/mode/ip_range

Tip: A full listing of the IP ranges associated with your organization's kickstart profiles is available

Associated IP Ranges with Kickstart Profile

You may add or delete IP ranges associated with this kickstart profile below:

IP Address Range:	1.2.3.1 - 1.2.3.1	delete
IP Address Range:	<input type="text"/> - <input type="text"/>	delete
IP Address Range:	<input type="text"/> · <input type="text"/> · <input type="text"/> · <input type="text"/> - <input type="text"/> · <input type="text"/> · <input type="text"/> · <input type="text"/> · <input type="text"/>	
	<input type="text"/>	

[Add IP Range](#)

Figura A.35: Opções do *kickstart*

Kickstart Details **System Details** Software Activation Keys Scripts Kickstart File

Details Locale Partitioning File Preservation GPG & SSL Troubleshooting

Hardware Considerations

Software Preferences

SELinux: Enforcing – SELinux policy enforced
 Permissive – SELinux prints warnings instead of enforcing
 Disabled – SELinux is fully disabled

Spacewalk Preferences

Enable Spacewalk Configuration Management:
 Tip: Enabling this will allow you to deploy configuration files from Spacewalk to any system that uses this kickstart profile. If you do not use Spacewalk configuration management, it is a good security practice to leave this box unchecked. You can always enable it on individual systems later.

Enable Spacewalk Remote Commands:
 Tip: Enabling this will allow you to execute commands remotely from Spacewalk on any system that uses this profile. It is a good security practice to leave this box unchecked unless you are sure you will use the remote command feature. You can always enable it on individual systems later.

Spacewalk Profile: If a Spacewalk system profile already exists for a re-provisioned system outside of the Spacewalk UI:
 Re-connect to the existing system profile. Do not create a new system profile.
 Delete the existing system profile and create a new system profile.
 Leave the existing system profile in place, but do not re-connect to it. Instead, create a new system profile.

Root Password

New Root Password:

Verify New Root Password:

[Update System Details](#)

Figura A.36: Opções do *kickstart*

Em *System Details* → *Partitioning* é possível configurar o esquema de particionamento do disco da máquina onde vai ser executado este perfil de *kickstart*. Para este projeto, aconselha-se o esquema descrito na figura A.37.

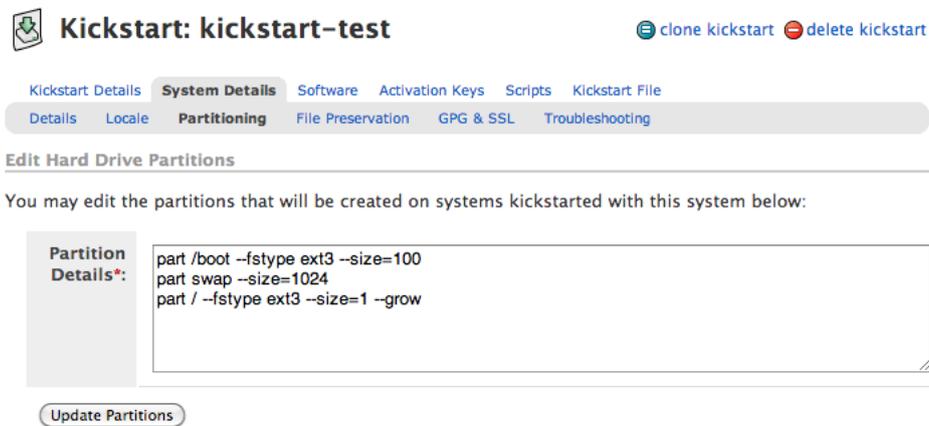


Figura A.37: Opções do *kickstart*

A opção *System Details* → *File Preservation* permite especificar diretorias ou ficheiros que devem ser guardados aquando o *kickstart* de uma máquina. Isto permite fazer o *kickstart* de uma máquina sem apagar alguns ficheiros (de configuração, por exemplo).

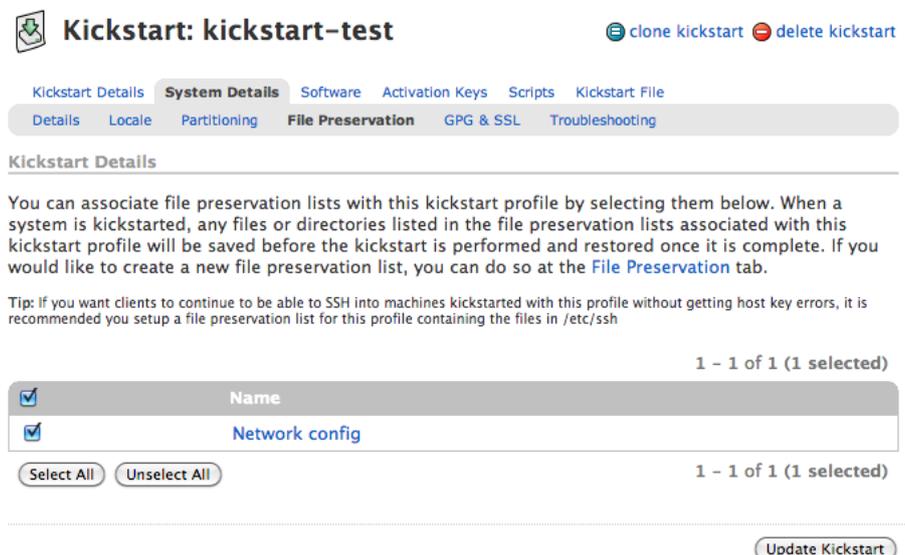


Figura A.38: Opções do *kickstart*

Na opção *System Details* → *GPG & SSL* devem ser selecionadas todas as chaves GPG e SSL criadas anteriormente, e que possam interessar para este perfil de *kickstart*, de forma a serem importadas para a máquina aquando o *kickstart*. Para este projeto, além da chave SSL do servidor do Spacewalk, devem importadas as chaves GPG dos repositórios utilizados para sincronizar os canais de *software*.

The screenshot shows the 'Kickstart: kickstart-test' configuration page. The 'System Details' tab is active, and the 'GPG & SSL' sub-tab is selected. Below the navigation tabs, a message states: 'Below is a list of the GPG and SSL keys you have created. Selected keys will be imported during the %post section of all kickstarts scheduled using this profile.' A table lists 5 selected keys, all of which are checked. The table has columns for 'Description' and 'Type'. Below the table are 'Select All' and 'Unselect All' buttons. At the bottom right, there is an 'Update keys' button.

<input checked="" type="checkbox"/>	Description	Type
<input checked="" type="checkbox"/>	RHN-ORG-TRUSTED-SSL-CERT	SSL
<input checked="" type="checkbox"/>	RPM-GPG-KEY-CentOS-6	GPG
<input checked="" type="checkbox"/>	RPM-GPG-KEY-EPEL-6	GPG
<input checked="" type="checkbox"/>	RPM-GPG-KEY-Internet2	GPG
<input checked="" type="checkbox"/>	RPM-GPG-KEY-spacewalk-2012	GPG

Figura A.39: Opções do *kickstart*

A opção *Software* → *Package Groups* permite detalhar o *software* a ser instalado na máquina. Aqui o utilizador pode especificar grupos de pacotes e pacotes individuais. Estes pacotes devem existir nos canais associados a este perfil de *kickstart*.

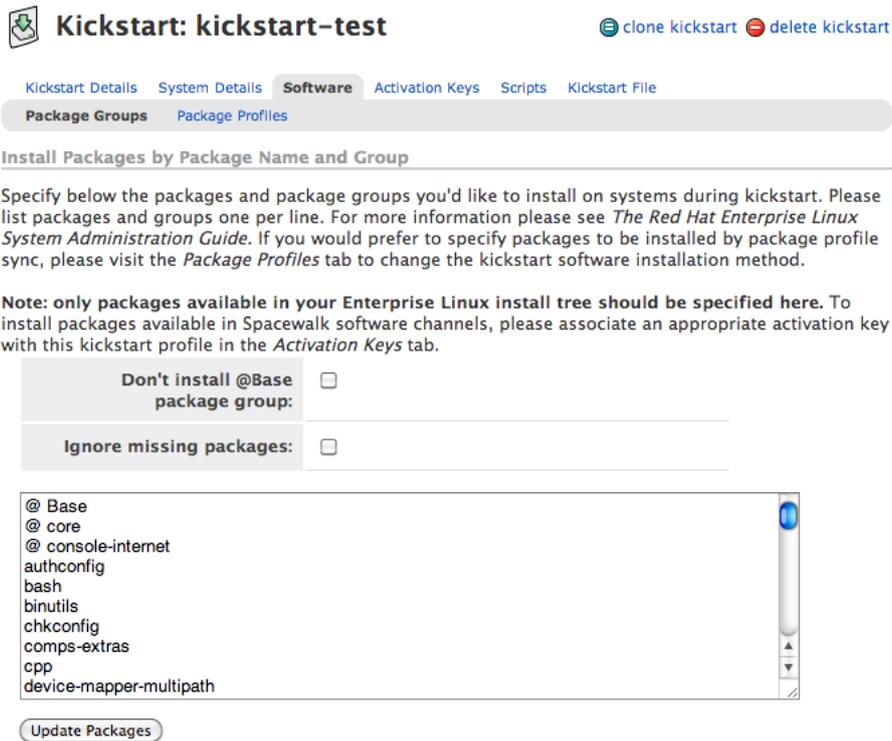


Figura A.40: Opções do *kickstart*

Para este projeto, devem ser especificados os seguintes pacotes:

Listagem A.18: Pacotes a instalar

- 1 @ Base
- 2 @ core
- 3 @ console-internet
- 4 authconfig
- 5 bash
- 6 binutils
- 7 chkconfig
- 8 comps-extras
- 9 cpp
- 10 device-mapper-multipath
- 11 gcc
- 12 glibc
- 13 glibc-common
- 14 glibc-devel
- 15 glibc-headers
- 16 httpd

17 kernel
18 kernel-headers
19 less
20 libgcc
21 libgomp
22 libpcap
23 mysql
24 mysql-devel
25 ntp
26 passwd
27 patch
28 perl-DBD-mysql
29 perl-DBI
30 php
31 php-gd
32 php-snmp
33 php-xml
34 polycoreutils
35 rootfiles
36 syslinux
37 system-config-firewall-base
38 tcpdump
39 vim-common
40 vim-enhanced
41 xkeyboard-config
42 kmod-sk98lin
43 openssh-clients
44 openssh-server
45 web100_userland
46 iperf3
47 tcptrace
48 xplot-tcptrace
49 bwctl-client
50 bwctl-server
51 ndt
52 npad
53 nuttcp
54 owamp-client
55 owamp-server
56 perl-perfSONAR_PS-Toolkit
57 perl-perfSONAR_PS-Toolkit-SystemEnvironment
58 perl-perfSONAR_PS-LSCacheDaemon
59 perl-perfSONAR_PS-LSRegistrationDaemon
60 perl-perfSONAR_PS-MeshConfig-Agent

```
61 perl-perfSONAR_PS-PingER-server
62 perl-perfSONAR_PS-SimpleLS-BootStrap-client
63 perl-perfSONAR_PS-SNMPMA
64 perl-perfSONAR_PS-TracerouteMA-client
65 perl-perfSONAR_PS-TracerouteMA-config
66 perl-perfSONAR_PS-TracerouteMA-server
67 perl-perfSONAR_PS-perfSONARBUOY-client
68 perl-perfSONAR_PS-perfSONARBUOY-config
69 perl-perfSONAR_PS-perfSONARBUOY-server
70 rhncfg
71 rhncfg-actions
72 rhncfg-client
73 rhnmd
74 osad
```

A opção *Activation Keys* permite associar chaves de ativação a este perfil de *kickstart*.

Kickstart: kickstart-test [clone kickstart](#) [delete kickstart](#)

[Kickstart Details](#) [System Details](#) [Software](#) **Activation Keys** [Scripts](#) [Kickstart File](#)

Kickstart Details

You can associate one or more activation keys with this kickstart profile. Activation keys will allow systems kickstarted with this profile to automatically register to Spacewalk, gain Spacewalk service level entitlements, subscribe to specified software and configuration channels, and subscribe to specified system groups. Activation keys can also specify packages to be installed on a system. Please consider how this may affect your package selection in this profile's [Software](#) tab.

1 - 2 of 2 (1 selected)

<input type="checkbox"/>	Description	Key	Usage
<input type="checkbox"/>	Default key	1-default	(unlimited)
<input checked="" type="checkbox"/>	RCTS probes	1-rcts	(unlimited)

[Select All](#) [Unselect All](#) 1 - 2 of 2 (1 selected)

Note: The selection of incompatible activation keys can prevent a system from registering properly after it is kickstarted. You'll want to review the RHN Reference Guide section on using multiple activation keys before making use of this feature.

Warning: Any child channel subscriptions associated with this profile will be overridden if any activation keys are selected above. If you wish to associate activation keys with this profile, please use an activation key to specify child channel subscriptions.

[Update Activation Keys](#)

Figura A.41: Lista de chaves de ativação

Para este projeto, é desejável criar uma chave de ativação, como demonstrado anteriormente, para especificar os canais de configuração a subscrever.

Na opção *Scripts*, o utilizador pode criar *scripts* que podem ser executados antes ou depois da instalação do sistema operativo. Para este projeto, aconselha-se a criação de cinco *scripts* (presentes nos apêndices K, L, M, N e O) destinados à configuração do perfSONAR, de opções do cliente *Spacewalk*, de alguns serviços que correm no sistema instalado e da *firewall* do sistema.



Kickstart Scripts

You may specify scripts to run during the kickstart process, either before (pre-kickstart) or after (post-kickstart) the operating system installation starts. These scripts are useful for tasks such as setting up NFS mounts, moving files before installation, turning services on, or adding users after installation.

You may view or edit the scripts for this kickstart below. You may add a new script using the add new kickstart script button above to the right.

1 - 4 of 4

Script Type	Script #	Script Name	Scripting Language
Post	Script 1	pS - Init DB	bash
Post	Script 2	pS - Disable readahead	bash
Post	Script 3	Spacewalk config	bash
Post	Script 4	Services config	bash

1 - 4 of 4

Figura A.42: Lista de *scripts*

Finalmente, em *Kickstart File* o utilizador pode consultar e fazer *download* do script de kickstart gerado através da configuração efetuada.

Kickstart: kickstart-test

[Kickstart Details](#) [System Details](#) [Software](#) [Activation Keys](#) [Scripts](#) **[Kickstart File](#)**

Kickstart File

The kickstart file generated by this kickstart profile is viewable below:

[Download Kickstart File](#)

```
install
text
network --bootproto=static --ip=192.168.1.100 --netmask=255.255.255.240 --gate
url --url http://192.168.1.100.fccn.pt/ks/dist/centos-6.4-x86_64
lang en_US
keyboard pt-latin1
zerombr
clearpart --all --initlabel
bootloader --location mbr
timezone --utc Europe/Lisbon
auth --enablemd5 --enableshadow
rootpw --iscrypted $1$vPjKYFr0$hZTnNFheN9/SbYs2dROX.
selinux --disabled
reboot
firewall --disabled
skipx
repo --name=epel-6-x86_64 --baseurl=http://192.168.1.100.fccn.pt/ks/di
repo --name=ps-toolkit-3.3-x86_64 --baseurl=http://192.168.1.100.fccn.
repo --name=spcw-client-1.9-x86_64 --baseurl=http://192.168.1.100.fccn.
part /boot --fstype ext3 --size=100
part swap --size=1024
```

Figura A.43: Amostra do ficheiro de *kickstart* gerado

Como está presente em várias figuras mostrados anteriormente, é possível clonar um perfil de *kickstart*, aquando a sua configuração. Neste projeto, não sendo possível a utilização de servidores DHCP para atribuir automaticamente a configuração de rede às sondas **perFSONAR**, é desejável criar um perfil de *kickstart* para cada sonda, definindo assim individualmente a configuração de rede. A função de clonagem de um *kickstart* pode assim ser utilizada para clonar um perfil de *kickstart* totalmente configurado, sendo apenas necessário alterar posteriormente a configuração de rede em cada perfil.

Criação do ficheiro ISO

De forma a criar o ficheiro ISO que será utilizado para dar início ao processo de *kickstart*, utilizar-se-á a ferramenta **Cobbler**, instalada com o **Spacewalk**. O **Cobbler** é um servidor de instalação de sistemas operativos Linux que permite a rápida configuração de ambientes de instalação em rede. Depois de criados os perfis de *kickstart* desejados, pode-se gerar, através do **Cobbler**, um ficheiro ISO que pode ser gravado num CD ou numa *pen* USB e que é depois utilizado numa máquina remota para fazer o arranque da instalação remota do sistema operativo e respetivos pacotes associados

através de um determinado perfil de *kickstart*.

O primeiro passo a efetuar, no servidor onde foi instalado o **Spacewalk**, é executar o comando `cobbler check`, para este verificar se estão reunidas todas as condições para o seu correto funcionamento. Na figura A.44 podemos ver o resultado da execução deste comando.

```
[root@perpsonar-tmp4 ~]# cobbler check
The following are potential configuration items that you may want to fix:

1 : some network boot-loaders are missing from /var/lib/cobbler/loaders, you may run 'cobbler
   get-loaders' to download them, or, if you only want to handle x86/x86_64 netbooting, you may
   ensure that you have installed a *recent* version of the syslinux package installed and can
   ignore this message entirely.  Files in this directory, should you want to support all archit
   ectures, should include pxelinux.0, menu.c32, elilo.efi, and yaboot. The 'cobbler get-loaders
   ' command is the easiest way to resolve these requirements.
2 : change 'disable' to 'no' in /etc/xinetd.d/tftp
3 : change 'disable' to 'no' in /etc/xinetd.d/rsync
4 : since iptables may be running, ensure 69, 80, and 25151 are unblocked
5 : debmirror package is not installed, it will be required to manage debian deployments and
   repositories
6 : The default password used by the sample templates for newly installed machines (default_p
   assword_crypted in /etc/cobbler/settings) is still set to 'cobbler' and should be changed, tr
   y: "openssl passwd -1 -salt 'random-phrase-here' 'your-password-here'" to generate new one
7 : fencing tools were not found, and are required to use the (optional) power management fea
   tures. install cman or fence-agents to use them

Restart cobblerd and then run 'cobbler sync' to apply changes.
[root@perpsonar-tmp4 ~]#
```

Figura A.44: Resultado da execução do comando *cobbler check*

Como se pode verificar, o **Cobbler** detetou alguns problemas e oferece sugestões de como resolver os mesmos. Neste caso, seguiram-se os seguintes passos:

Listagem A.19: Comandos para fazer *download* das ferramentas de *boot* em rede

```
1 # cobbler get-loaders
2 # yum install syslinux
3 # ln -s /usr/share/syslinux /usr/lib/syslinux
4 # cp /usr/share/syslinux/menu.c32 /var/lib/cobbler/loaders/
```

Estes comandos permitem instalar as ferramentas necessárias para o **Cobbler** gerar os ficheiros que permitem fazer o arranque do *kickstart*. Os dois últimos comandos resolvem alguns problemas geralmente encontrados (caminho da pasta *syslinux* incorreta e ficheiro *menu.c32* desatualizado).

De seguida, instalam-se as ferramentas necessárias para executar tarefas de gestão de energia nas máquinas instaladas por *kickstart*:

Listagem A.20: Comando para instalar a ferramenta *cman*

```
1 # yum install cman
```

Finalmente, gerou-se uma nova palavra-passe para substituir a palavra-passe presente no ficheiro `/etc/cobbler/settings`:

Listagem A.21: Comandos para substituir a palavra-passe pré-definida

```
1 # openssl passwd -1 -salt 'caracteres-aleatórios' 'nova-palavra-passe'
2 # vim /etc/cobbler/settings
```

O resultado do primeiro comando deve substituir a palavra-passe cifrada encontrada na linha “**default_password_crypted:**”, no ficheiro `/etc/cobbler/settings`.

No final, deve-se reiniciar o serviço `cobblerd` para aplicar as mudanças efetuadas. Para isso, utilizam-se os comandos:

Listagem A.22: Comandos para reiniciar o serviço `cobblerd` e aplicar as mudanças

```
1 # service cobblerd restart
2 # cobbler sync
```

Para verificar se existem mais problemas que possam afetar a utilização do `Cobbler`, pode-se executar de novo o comando `cobbler check`.

De forma a gerar o ficheiro ISO, executa-se o comando `cobbler buildiso`. O ficheiro será criado na pasta onde o comando for executado.

Neste projeto, importa alterar algumas opções que são definidas automaticamente pelo `Cobbler`, nomeadamente o URL do ficheiro de `kickstart`. Como se vai utilizar a opção de *Bare Metal Kickstart*, deve-se utilizar o URL genérico apresentado nesta opção (p.ex.: `http://spacewalk.fcn.pt/ks/cfg/org/1/mode/ip_range`) para obter o ficheiro de `kickstart`.

Para alterar o URL que é configurado por omissão pelo `Cobbler`, edita-se o ficheiro `/var/cache/cobbler/buildiso/isolinux/isolinux.cfg`. Neste ficheiro, todas as entradas que contêm a linha `ks=http://spacewalk.fcn.pt/ks/cfg/org/1/label/XXXXXX` (onde `XXXXXX` diz respeito à etiqueta do perfil de `kickstart` definida em A.2.3) devem ser alteradas para `ks=http://spacewalk.fcn.pt/ks/cfg/org/1/mode/ip_range`.

Depois de editar o ficheiro, gera-se de novo o ficheiro ISO através do comando:

Listagem A.23: Comandos para gerar o ficheiro ISO alterado

```
1 # mkisofs -o generated.iso -r -b isolinux/isolinux.bin -c isolinux/boot2
   ↪ .cat -no-emul-boot -boot-load-size 4 -boot-info-table -V Cobbler |2
   ↪ Install -R -J -T /var/cache/cobbler/buildiso
```

Podem-se utilizar ferramentas como o UNetbootin⁴ para gravar o ficheiro ISO resultante para uma *pen* USB.

Depois de arrancar o sistema a instalar através da *pen* USB, é apresentado um menú com os perfis de *kickstart* passíveis de serem utilizados, como se pode ver na figura A.45.

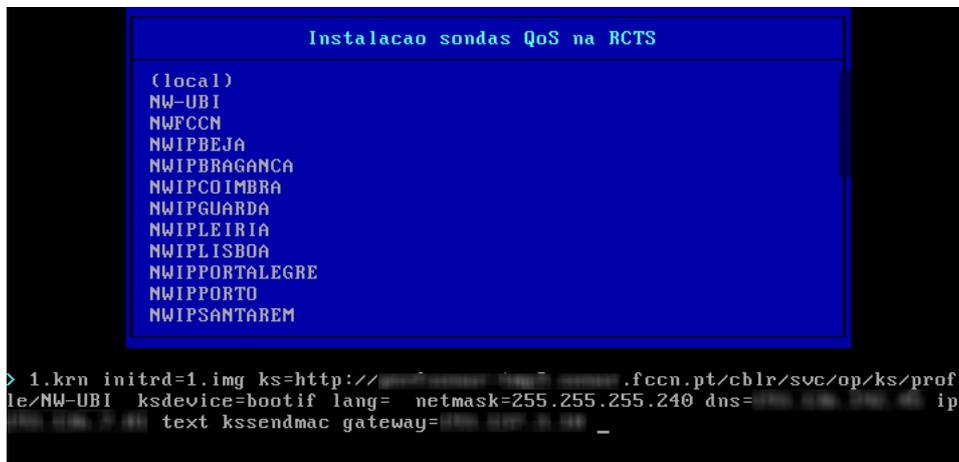


Figura A.45: Exemplo do ecrã de instalação remota das sondas

Após a instalação com sucesso de uma máquina, esta é registada automaticamente no Spacewalk. Na figura A.46 pode-se ver o ecrã com algumas informações sobre um sistema instalado, e algumas das operações que é possível executar sobre o mesmo.

⁴<http://unetbootin.sourceforge.net/>


perfformar-emp3.com.br.fccn.pt

[+ add to ssm](#) | [- delete system](#)

[Details](#)
[Software](#)
[Configuration](#)
[Provisioning](#)
[Monitoring](#)
[Groups](#)
[Audit](#)
[Events](#)

[Overview](#)
[Properties](#)
[Remote Command](#)
[Reactivation](#)
[Hardware](#)
[Migrate](#)
[Notes](#)
[Custom Info](#)

System Status

 **System not checking in with Spacewalk**

System Info		System Events	
Hostname:	perfformar-emp3.com.br.fccn.pt	Checked In:	7/19/13 6:36:33 PM BST
IP Address:	192.168.1.81	Registered:	7/19/13 6:03:50 PM BST
IPv6 Address:	::1	Last Booted:	7/19/13 6:26:19 PM BST (Schedule System Reboot)
Virtualization:	VMware	OSA Status:	offline as of unknown Last pinged: 7/19/13 6:38:48 PM BST Ping System
UUID:	564d69d773b4a817f0ad51edcb6ce8e1		
Kernel:	2.6.32-358.el6.x86_64		

Figura A.46: Informação sobre um cliente do Spacewalk

Na opção *Software* → *Packages* → *Install* é possível procurar por pacotes disponíveis nos canais de *software* existentes e instalar os mesmos no sistema, como demonstrado nas figuras A.47 e A.48.


perfonar-emp3.com.br.fccn.pt

 add to ssm |
  delete system

Details **Software** Configuration Provisioning Monitoring Groups Audit Events
 Errata **Packages** Software Channels Software Crashes
 List / Remove Upgrade **Install** Verify Profiles Extra Packages

 Installable Packages

The following packages may be installed on this system.

The list of 7 item(s) below is filtered.
[Clear filter to see all 14,951 items.](#)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O **P** Q R S T U V W X Y Z

Filter by Package Name: Display items per page 1 - 7 of 7 (1 selected)

<input type="checkbox"/> Package Name	Architecture
<input type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-MeshConfig-GUIAgent-3.3-7.pSPS	noarch
<input checked="" type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-Nagios-3.3-2.pSPS	noarch
<input type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-perfAdmin-3.3-2.pSPS	noarch
<input type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-SimpleLS-BootStrap-server-3.3-4.pSPS	noarch
<input type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-Status-3.3-1.pSPS	noarch
<input type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-TL1Collector-3.3-1.pSPS	noarch
<input type="checkbox"/> perl-perfSONAR_PS-Toolkit-LiveCD-3.3-14.pSPS	noarch

1 - 7 of 7 (1 selected)

Figura A.47: Procura de pacotes


perl-perfSONAR-PS-Nagios-3.3-2.pSPS.noarch.fccn.pt

 add to ssm |
  delete system

[Details](#) |
 Software |
 [Configuration](#) |
 [Provisioning](#) |
 [Monitoring](#) |
 [Groups](#) |
 [Audit](#) |
 [Events](#)

[Errata](#) |
 Packages |
 [Software Channels](#) |
 [Software Crashes](#)

[List / Remove](#) |
 [Upgrade](#) |
 Install |
 [Verify](#) |
 [Profiles](#) |
 [Extra Packages](#)

 **Confirm Package Install**

System last check-in: 7/19/13 6:36:33 PM BST (2 days 16 hours 5 minutes ago)
 Current Spacewalk time: 7/22/13 10:41:49 AM BST

NOTE: This system has not checked into the Spacewalk recently. Since a system cannot be updated if it does not check in to Spacewalk, it is unlikely that this action will succeed.

Please check the system and ensure rhnsd is running.

Filter by Package Name: Display items per page 1 - 1 of 1

Package Name
perl-perfSONAR_PS-Nagios-3.3-2.pSPS.noarch

1 - 1 of 1

You may schedule the package installations to take place as soon as possible, or no sooner than a specified time:

Schedule action as soon as possible
 Schedule action for no sooner than:



BST

Figura A.48: Instalação de pacotes

A opção *Configuration* → *Deploy Files* permite ao utilizador instalar no sistema os ficheiros de configuração geridos centralmente pelo Spacewalk e que fazem parte do grupo de configuração do qual o sistema faz parte (figura A.49).

The following configuration files are deployable to this system. Files from configuration channels with a higher priority take precedence over files from configuration channels with a lower priority.

Filter by Filename: 1 – 9 of 9 (2 selected)

<input type="checkbox"/>	Filename	Deployable Revision	Provider
<input checked="" type="checkbox"/>	/etc/ntp.conf	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/etc/sysconfig/rhn/osad.conf	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/etc/yum.repos.d/CentOS-Base.repo	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/etc/yum.repos.d/epel.repo	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/etc/yum.repos.d/Internet2.repo	Revision 1	RCTS
<input checked="" type="checkbox"/>	/etc/yum.repos.d/Internet2-web100_kernel.repo	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/opt/perfonar_ps/toolkit/etc/administrative_info	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/opt/perfonar_ps/toolkit/etc/enabled_services	Revision 1	RCTS
<input type="checkbox"/>	/var/lib/nocpulse/.ssh/authorized_keys	Revision 1	RCTS

1 – 9 of 9 (2 selected)

Figura A.49: Instalação de ficheiros de configuração

Outra opção interessante desta ferramenta é a possibilidade de voltar atrás em algumas ações executadas sobre o sistema. Se o utilizador fizer, por exemplo, uma atualização do *software* e desejar anular esta ação, pode utilizar a opção *Provisioning* → *Snapshots*. Neste ecrã o utilizador pode escolher as ações que deseja anular, como demonstrado na figura A.50.


[professor-vmg5.ostan.fccn.pt](#)
 delete system

[Details](#)
[Software](#)
[Configuration](#)
[Provisioning](#)
[Monitoring](#)
[Groups](#)
[Audit](#)
[Events](#)

[Kickstart](#)
[Snapshots](#)
[Snapshot Tags](#)


System Snapshots

System Snapshot Rollback functionality allows you to restore a system's package profile, configuration files, and RHN configuration to previously recorded values.

Below are a list of snapshots of your system. To rollback to a previous configuration, or to view the changes that would have if you rolled back, click the desired snapshot below.

1 - 14 of 14

Reason	Time Taken	Tags
Scheduled action completion: Deploy config files to system	2013-07-19 18:36:29	0
Scheduled action completion: Package Install	2013-07-19 18:36:29	0
Package profile changed	2013-07-19 18:36:11	0
Package profile changed	2013-07-19 18:36:08	0
Scheduled action completion: Package Install	2013-07-19 18:22:53	0
Package profile changed	2013-07-19 18:14:31	0
Scheduled action completion: Package Install	2013-07-19 18:14:31	0
Package profile changed	2013-07-19 18:13:55	0

Figura A.50: Opção de anular ações efetuadas

É também possível executar comandos remotos no sistema, através da opção *Details* → *Remote Command*. O utilizador pode especificar qual o comando a executar, sob que utilizador / grupo do sistema, e o tempo de espera para a execução do comando (figura A.51).


server-0123456789.fccn.pt
 delete system

[Details](#)
[Software](#)
[Configuration](#)
[Provisioning](#)
[Monitoring](#)
[Groups](#)
[Audit](#)
[Events](#)

[Overview](#)
[Properties](#)
[Remote Command](#)
[Reactivation](#)
[Hardware](#)
[Migrate](#)
[Notes](#)
[Custom Info](#)

Run Remote Command

You can schedule a remote script to execute on this system below. The script will run as the user you specify.

You must enable Remote Command execution on the target system, by adding a file to the local `rhncfg` configuration directory: `allowed-actions/script/run`.

Run as user*:	<input type="text" value="root"/>
Run as group*:	<input type="text" value="root"/>
Timeout (seconds):	<input type="text" value="600"/>
Script*:	<pre>#!/bin/sh</pre>
Schedule no sooner than:	 July 22 2013 10 39 AM BST

[Schedule Remote Command](#)

Figura A.51: Opção de executar comandos remotamente

A.3 perfSonar Performance Toolkit

O `perfSonar Performance Toolkit` é a ferramenta utilizada pela FCT para fazer a medição de parâmetros de qualidade de serviço na rede da RCTS.

A.3.1 Instalação do `perfSonar Performance Toolkit`

A instalação do `perfSonar Performance Toolkit` é feita com recurso ao sistema de gestão centralizado descrito em A.2 (`Spacewalk`). Existe também a possibilidade de instalar o mesmo recorrendo às imagens fornecidas pela Internet2, que podem ser encontradas em http://software.internet2.edu/pS-Performance_Toolkit/.

As instruções para a instalação através destas imagens podem ser consultadas em <http://code.google.com/p/perfsonar-ps/wiki/pSPerformanceToolkit33> (última versão).

A.3.2 Configuração do `perfSonar Performance Toolkit`

O `perfSonar Performance Toolkit` oferece uma interface *web*, onde os utilizadores podem configurar os parâmetros das ferramentas utilizadas. Parte da configuração do `perfSonar Performance Toolkit` é feita aquando a instalação através do `Spacewalk` (a configuração dos servidores NTP a utilizar, os serviços ativos, entre outros).⁵

Na figura A.52 pode-se ver a interface *web* do `perfSonar Performance Toolkit`.

⁵NOTA: O serviço `httpd` pode ter sido desativado previamente na instalação através do `Spacewalk`. Para utilizar a interface *web* do `perfSonar`, o utilizador deverá reativar este serviço através de Secure Shell (SSH), utilizando o comando `service httpd start`.



performance ps toolkit

User Tools

- Local Performance Services
- Global Performance Services
- Java OWAMP Client
- Reverse Traceroute
- Reverse Ping

Service Graphs

- Throughput
- One-Way Latency
- Ping Latency
- SNMP Utilization
- Cacti Graphs

Toolkit Administration

- Administrative Information
- External BWCTL Limits
- External OWAMP Limits
- Enabled Services
- NTP
- Scheduled Tests
- Cacti SNMP Monitoring
- perfSONAR Logs

pS-Performance Node For FCCN In FCCN Lx Datacenter

Host Information

Organization Name	FCCN
Host Location	FCCN Lx Datacenter
Administrator Name	Pedro Queiros
Administrator Email	a39845@alunos.uminho.pt

Communities This Host Participates In

Host Status

Primary Address	[REDACTED]
MTU	1500
NTP Status	Synced
Globally registered	No

Services Offered

Bandwidth Test Controller (BWCTL)	Disabled
<ul style="list-style-type: none"> tcp://[REDACTED].fccn.pt:4823 tcp://[2001:[REDACTED]]:4823 	
Lookup Service	Disabled
<ul style="list-style-type: none"> http://[REDACTED].fccn.pt:9995/perfSONAR_PS/services/hLS http://[2001:[REDACTED]]:9995/perfSONAR_PS/services/hLS 	
Network Diagnostic Tester (NDT)	Running
<ul style="list-style-type: none"> tcp://[REDACTED].fccn.pt:3001 http://[REDACTED].fccn.pt:7123 	

Figura A.52: Interface *web* do perfSONAR

No menú do lado esquerdo, nas opções sob *Toolkit Administration* é possível configurar algumas opções do perfSonar Performance Toolkit.

A primeira opção, *Administrative Information* permite inserir alguns dados sobre a máquina onde está instalado o perfSonar Performance Toolkit, como se pode ver na figura A.53. Esta informação é mostrada no ecrã inicial (ver A.52).

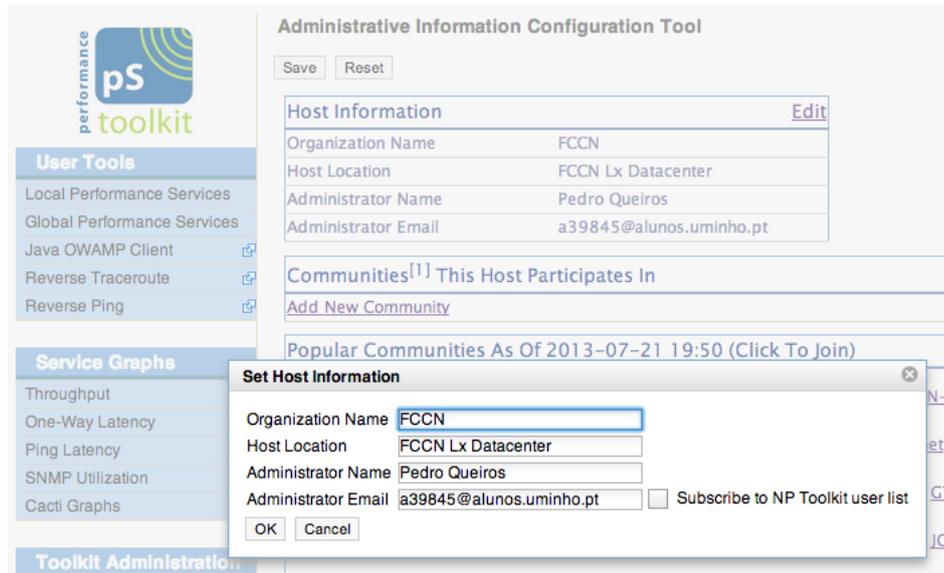


Figura A.53: Edição da informação administrativa do perfSonar

As opções *External BWCTL Limits* e *External OWAMP Limits* permitem configurar parâmetros para máquinas externas que queiram fazer testes com esta sonda (não utilizado neste projeto). Na figura A.54 podem-se ver as opções de configuração desses parâmetros para a ferramenta OWAMP.

performance ps toolkit

User Tools

- Local Performance Services
- Global Performance Services
- Java OWAMP Client
- Reverse Traceroute
- Reverse Ping

Service Graphs

- Throughput
- One-Way Latency
- Ping Latency
- SNMP Utilization
- Cacti Graphs

Toolkit Administration

- Administrative Information
- External BWCTL Limits
- External OWAMP Limits

OWAMP Configuration Tool

Save Reset

Unprivileged Clients

Maximum Bandwidth (bps)	1000000
Maximum Disk Usage (bytes)	1073741824
Delete Results After The Client Requests Them	yes
Edit Group Limits	

Privileged Clients

Maximum Bandwidth (bps)	unlimited
Maximum Disk Usage (bytes)	unlimited
Delete Results After The Client Requests Them	yes
Edit Group Limits	

Users	Group	Actions
Add User		

Network	Group	Actions
Add Network		

Save Reset

Figura A.54: Configuração dos parâmetros do OWAMP para máquinas externas

Na opção *Enabled Services* é possível configurar quais os serviços que são utilizados por esta sonda. Esta configuração é feita previamente pela instalação através do Spacewalk, mas pode ser revista nesta opção. Para este projeto apenas são utilizadas as ferramentas relativas ao OWAMP e ao serviço SSH, como se pode ver na figura A.55.



User Tools

- Local Performance Services
- Global Performance Services
- Java OWAMP Client [↗](#)
- Reverse Traceroute [↗](#)
- Reverse Ping [↗](#)

Service Graphs

- Throughput
- One-Way Latency
- Ping Latency
- SNMP Utilization
- Cacti Graphs [↗](#)

Toolkit Administration

- Administrative Information
- External BWCTL Limits
- External OWAMP Limits
- Enabled Services**
- NTP
- Scheduled Tests
- Cacti SNMP Monitoring [↗](#)
- perfSONAR Logs [↗](#)

Enabled Services Configuration Tool

Services	Description
<input type="checkbox"/> PingER	Enables this host to perform scheduled ping tests. These tests will periodically ping configured hosts giving administrators a view of the latency from their site over time.
<input type="checkbox"/> perfSONAR-BUOY Throughput Testing	Enables this host to perform scheduled throughput tests. These tests will run periodically giving administrators a view of the throughput to and from their site over time.
<input checked="" type="checkbox"/> perfSONAR-BUOY Latency Testing	Enables this host to perform scheduled one-way latency tests. These tests will run periodically giving administrators a view of the latency from their site over time.
<input checked="" type="checkbox"/> perfSONAR-BUOY Measurement Archive	Makes available the data collected by the perfSONAR-BUOY Latency and Throughput tests.
<input type="checkbox"/> NDT	Allows clients at other sites to run NDT tests to this host.
<input type="checkbox"/> NPAD	Allows clients at other sites to run NPAD tests to this host.
<input type="checkbox"/> BWCTL	Allows clients at other sites to run Throughput tests to this host
<input checked="" type="checkbox"/> OWAMP	Allows clients at other sites to run One-Way Latency tests to this host
<input checked="" type="checkbox"/> SSH	Allows administrators to remotely connect to this host using SSH
<input type="checkbox"/> SNMP MA	Makes available SNMP statistics collected by Cacti (Note: you must configure cacti for this to work)
<input type="checkbox"/> Traceroute MA	Makes available results of data collected by scheduled traceroute tests
<input type="checkbox"/> Traceroute Scheduler	Enables this host to run scheduled traceroute tests.
<input type="checkbox"/> Lookup Service	Registers your services into the global set of perfSONAR services so that they can be discovered

Figura A.55: Configuração dos serviços do perfSonar

A opção *NTP* permite configurar os servidores *NTP* a utilizar para fazer a sincronização temporal, e está demonstrada na figura A.56.

The screenshot shows the 'NTP Configuration Tool' interface. On the left is a sidebar with the 'performance pS toolkit' logo and a 'User Tools' menu containing: Local Performance Services, Global Performance Services, Java OWAMP Client, Reverse Traceroute, and Reverse Ping. The main area is titled 'NTP Configuration Tool' and contains 'Save' and 'Reset' buttons. Below is a table with the following data:

Server	Description	Actions
<input checked="" type="checkbox"/> [redacted].fccn.pt		Delete
<input checked="" type="checkbox"/> [redacted].fccn.pt		Delete
<input checked="" type="checkbox"/> [redacted].fccn.pt		Delete
<input checked="" type="checkbox"/> [redacted].fccn.pt		Delete
<input checked="" type="checkbox"/> [redacted].fccn.pt		Delete
<input type="checkbox"/> chronos.es.net	ESnet – New York, NY USA	Delete
<input type="checkbox"/> saturn.es.net	ESnet – Sunnyvale, CA USA	Delete
<input type="checkbox"/> owamp.atla.net.internet2.edu	Internet2 – Atlanta, GA USA	Delete

Figura A.56: Configuração dos servidores *NTP*

Na opção *Scheduled Tests* o utilizador pode configurar os testes que deseja realizar a partir desta sonda. Neste projeto, apenas se vai configurar testes de OWD. Para adicionar um novo teste, seleciona-se a opção *Add New One-Way Delay Test*, como se pode ver na figura A.57.

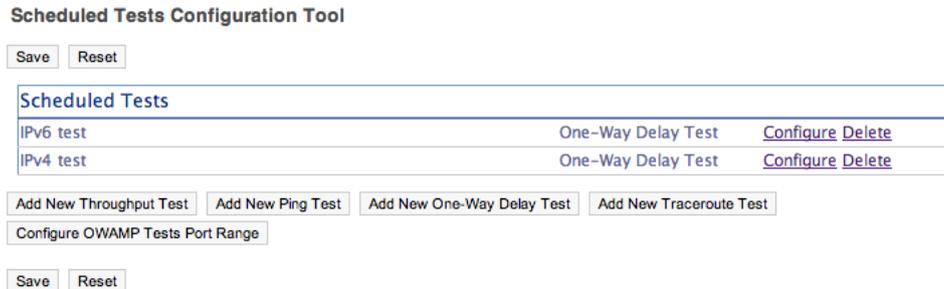


Figura A.57: Lista e opções dos testes

É possível atribuir uma descrição ao teste e configurar o número de pacotes a enviar (de 1 a 20) por segundo e o tamanho dos mesmos (figura A.58).

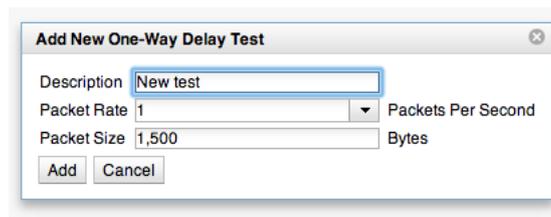


Figura A.58: Adicionar novo teste de OWD

Depois de criado o teste, é possível configurar as sondas de destino envolvidas nos testes de OWD (são automaticamente configurados testes nos dois sentidos). É também possível alterar os parâmetros configurados previamente, como se pode ver na figura A.59.

Scheduled Tests Configuration Tool

Save Reset

Scheduled Tests		
IPv6 test	One-Way Delay Test	Configure Delete
IPv4 test	One-Way Delay Test	Configure Delete

[Add New Throughput Test](#)
[Add New Ping Test](#)
[Add New One-Way Delay Test](#)
[Add New Traceroute Test](#)

[Configure OWAMP Tests Port Range](#)

Test Parameters	
Description	IPv4 test
Packet Rate (packets per second)	1
Packet Size (bytes)	1500
Edit Test Parameters	

Test Members		
192.168.1.100	.fccn.pt	pS 3.3 test Delete
192.168.1.100		SCOM probe Delete

[Add New Host](#)

Figura A.59: Configuração do teste de OWD

A.3.3 Utilização do perfSonar Performance Toolkit

Depois de configurado o perfSonar Performance Toolkit, os resultados dos testes podem ser consultados nas opções em *Service Graphs*. Neste projeto apenas será utilizada a opção *One-Way Latency*, onde são mostrados ao utilizador os testes ativos (que devolveram resultados nos últimos 30 minutos) e os testes inativos (que não devolvem resultados há mais de 30 minutos).

perfSONAR-PS Tests

Service type

One Way Latency

Active Tests:

▲ Sorted(asc) by that column. Click on column headings to sort

Source ▲	Destination	Bidirectional	Forward Direction Loss (Past 30 minutes)	Reverse Direction Loss (Past 30 minutes)	Graph
2001:500:1:1:::23a6 (2001:500:1:1:::19)	2001:500:1:1:::eeee	Yes	0.00%	0.00%	Select ▾
2001:500:1:1:::19	2001:500:1:1:102	Yes	0.00%	0.00%	Select ▾

Inactive Tests:

Source ▲	Destination	Bidirectional	Forward Direction Loss (Past 30 minutes)	Reverse Direction Loss (Past 30 minutes)	Graph
2001:500:1:1:23a6 (2001:500:1:1:23a6)	2001:500:1:1:19	Yes	*	*	Select ▾
2001:500:1:1:23a6 (2001:500:1:1:23a6)	2001:500:1:1:19	Yes	*	*	Select ▾
2001:500:1:1:126	2001:500:1:1:19	Yes	*	*	Select ▾

Figura A.60: Resultados dos testes de OWD

Neste ecrã é possível escolher a opção que traça os gráficos com as informações das medições. Por definição, é possível traçar gráficos com informações relativas às últimas 4 horas, 12 horas, um dia ou uma semana. Na figura A.61 pode-se ver o exemplo de um gráfico relativo à medição de OWD no período de uma semana.

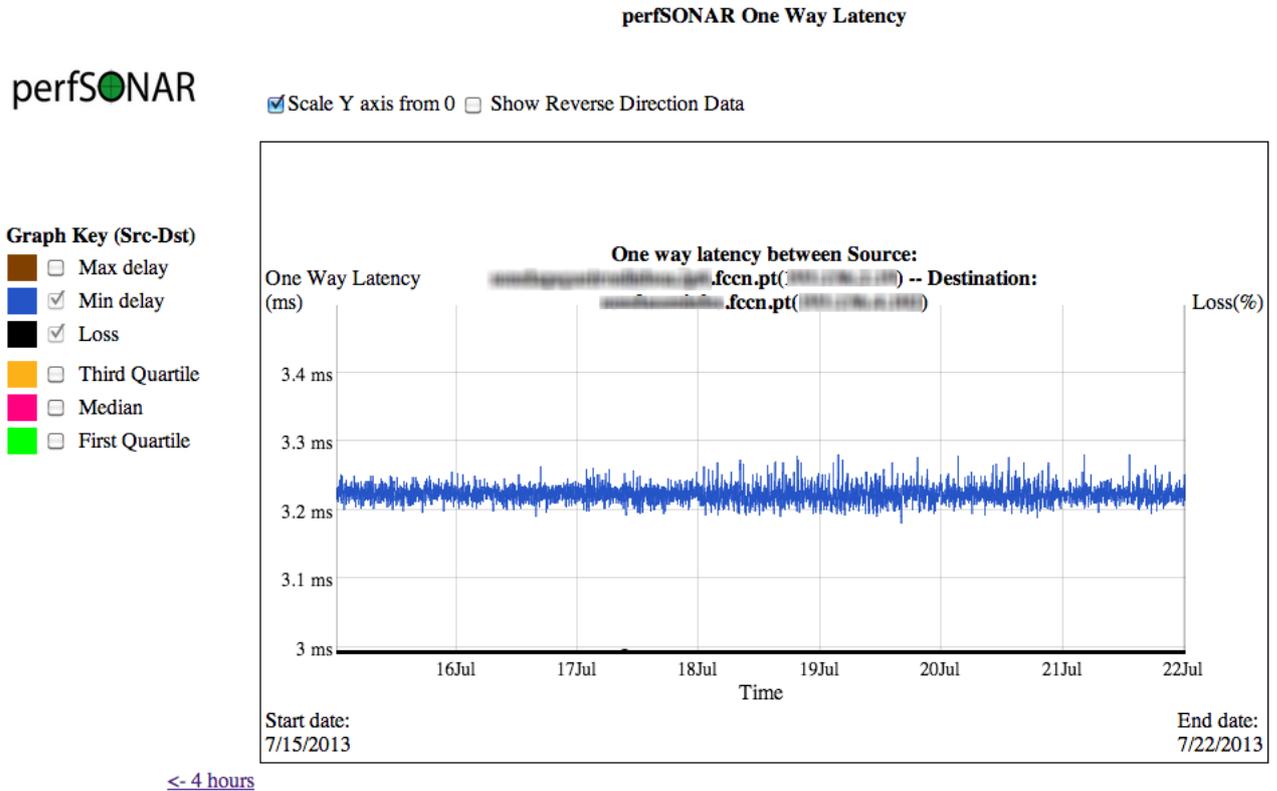


Figura A.61: Gráfico com resultado de um teste de OWD

A informação recolhida nos testes de OWD pode ainda ser processada por um *script* PHP, desenvolvido para recolher informação das medições da base de dados, processá-la e apresentar os dados relativos aos últimos 5 minutos. Estes dados podem depois ser incluídos numa ferramenta de visualização, como o **Cacti**⁶.

Esse *script* recebe como parâmetros os endereços IP das sondas de origem e de destino. Para recolher informação nos dois sentidos da mesma ligação, o *script* deve ser executado duas vezes, com os endereços IP de origem e de destino trocados, por exemplo:

⁶<http://www.cacti.net/>

Listagem A.24: Comandos para executar o *script* desenvolvido

```
1 # php perfsonar-qos.php 192.168.1.19 192.168.1.102
2 # php perfsonar-qos.php 192.168.1.102 192.168.1.19
```

Na figura A.62 encontra-se um exemplo da informação recolhida numa execução deste *script*.

```
[root@sondapqueiroslisboa bd-test]# php perfsonar-qos.php 192.168.1.19 192.168.1.102
LatMin:0.00322104
LatMed:0.0033
LatMax:0.00355005
LatP95:0.0034
LatVar:0.0001
PktLoss:0
Dups:0
NTPErr:2.30074e-05
```

Figura A.62: Resultado da execução do *script*

Apêndice B

Conteúdo do ficheiro *ntp.conf*

```
1 logfile /var/log/ntpd
2 driftfile /var/lib/ntp/ntp.drift
3 statsdir /var/lib/ntp/
4 statistics loopstats peerstats clockstats
5 filegen loopstats file loopstats type day link enable
6 filegen peerstats file peerstats type day link enable
7 filegen sysstats file sysstats type day link enable
8 #filegen clockstats file clockstats type day link enable
9
10 # You should have at least 4 NTP servers
11
12 server 1.2.3.1 iburst minpoll 4 maxpoll 4 prefer # QoSM Stratum 1
13 server 1.2.3.2 iburst minpoll 4 maxpoll 4 noselect # LX Stratum 1
14 server 1.2.3.3 iburst minpoll 4 maxpoll 4 noselect # OPT Stratum 1
15 server 1.2.3.4 iburst minpoll 4 maxpoll 4 noselect # AVR Stratum 1
16 server 1.2.3.5 iburst minpoll 4 maxpoll 4 noselect # CMB Stratum 1
17
18 #server owamp.chic.net.internet2.edu iburst
19 #server owamp.hous.net.internet2.edu iburst
20 #server owamp.losa.net.internet2.edu iburst
21 #server owamp.newy.net.internet2.edu iburst
22 #server chronos.es.net iburst
23 #server saturn.es.net iburst
```


Apêndice C

Conteúdo do ficheiro

enabled_services

```
1 bwctl_enabled=disabled
2 hls_enabled=disabled
3 https_enabled=enabled
4 maddash_enabled=disabled
5 ndt_enabled=disabled
6 npad_enabled=disabled
7 owamp_enabled=enabled
8 psb_enabled=disabled
9 psb_ma_enabled=enabled
10 psb_owamp_enabled=enabled
11 pinger_enabled=disabled
12 snmpma_enabled=disabled
13 ssh_enabled=enabled
14 traceroute_ma_enabled=disabled
15 traceroute_scheduler_enabled=disabled
```


Apêndice D

Conteúdo do ficheiro

authorized_keys

```
1 #add the RHNMD public key for your RHN Monitoring Scout below
2 ssh-dss AAAAB3NzaC1kc3MAAACBANbWm/zHDnY5UYprSANWœWw/QxzDmxdz2
   ↪ ..... nocpulse@spacewalk.fccn.pt
```


Apêndice E

Conteúdo do ficheiro *osad.conf*

```
1 [osad]
2
3 # don't change this
4 systemid = /etc/sysconfig/rhn/systemid
5
6 # increase for debugging output
7 debug_level = 0
8
9 # don't change this... used in substitutions below.
10 # if you get rid of the '%(server_handler)s' bits below,
11 # the *MUST* be replaced with this value...
12 server_handler = /XMLRPC
13
14 # Protocol to talk upstream
15 proto = https
16
17 # to use a server other than what up2date is configured to use,
18 # do something along the lines of:
19 # server_url = https://some.example.com%(server_handler)s
20 # server_url = http://another.example.net:8080%(server_handler)s
21 # server_url = https://yet.another.example.org:8081/XMLRPC
22 server_url = %(proto)s://%(server_name)s%(server_handler)s
23
24 # the following fields are inherited from up2date's configuration,
25 # but are overridable in this file
26
27 # enableProxy = 1
28 # enableProxyAuth = 1
29 # httpProxy = some.proxy.example.com:3030
30 # proxyUser = proxy_user_name
```

```

31 # proxyPassword = proxy_password
32
33 # Use a different certificate from what up2date is using
34 # This should point to the satellite certificate for
35 # server_name
36 osa_ssl_cert = /usr/share/rhn/RHN-ORG-TRUSTED-SSL-CERT
37
38 logfile = /var/log/osad
39
40 max_time_drift = 120
41
42 run_rhn_check = 1
43
44 # Default command to run when asked by the dispatcher
45 rhn_check_command = /usr/sbin/rhn_check
46
47 # By default we only use the first jabber server.
48 # Turn the enable_failover option to 1 if you want the connections
49 # to try Satellite's jabberd if RHN Proxy's is not available.
50 enable_failover = 0
51
52 # Enable kernel keepalive timer on the osad client side socket
53 # in case the satellite/proxy side socket is closed without osad ↯
    ↵ realising it
54 # After 'tcp_keepalive_timeout' seconds the kernel will probe the ↯
    ↵ connection
55 # After 'tcp_keepalive_count' unsuccessful probes, the kernel will ↯
    ↵ close the connection
56 tcp_keepalive_timeout = 1800
57 tcp_keepalive_count = 3

```

Apêndice F

Conteúdo do ficheiro

CentOS-Base.repo

```
1 # CentOS-Base.repo
2 #
3 # The mirror system uses the connecting IP address of the client and ↵
   ↵ the
4 # update status of each mirror to pick mirrors that are updated to and
5 # geographically close to the client. You should use this for CentOS ↵
   ↵ updates
6 # unless you are manually picking other mirrors.
7 #
8 # If the mirrorlist= does not work for you, as a fall back you can try ↵
   ↵ the
9 # remarked out baseurl= line instead.
10 #
11 #
12
13 [base]
14 name=CentOS-$releasever - Base
15 mirrorlist=http://mirrorlist.centos.org/?release=$releasever&arch=↵
   ↵ $basearch&repo=os
16 #baseurl=http://mirror.centos.org/centos/$releasever/os/$basearch/
17 gpgcheck=1
18 enabled=0
19 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-CentOS-6
20
21 #released updates
22 [updates]
23 name=CentOS-$releasever - Updates
```

```

24 mirrorlist=http://mirrorlist.centos.org/?release=$releasever&arch=
    ↪ $basearch&repo=updates
25 #baseurl=http://mirror.centos.org/centos/$releasever/updates/$basearch/
26 gpgcheck=1
27 enabled=0
28 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-CentOS-6
29
30 #additional packages that may be useful
31 [extras]
32 name=CentOS-$releasever - Extras
33 mirrorlist=http://mirrorlist.centos.org/?release=$releasever&arch=
    ↪ $basearch&repo=extras
34 #baseurl=http://mirror.centos.org/centos/$releasever/extras/$basearch/
35 gpgcheck=1
36 enabled=0
37 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-CentOS-6
38
39 #additional packages that extend functionality of existing packages
40 [centosplus]
41 name=CentOS-$releasever - Plus
42 mirrorlist=http://mirrorlist.centos.org/?release=$releasever&arch=
    ↪ $basearch&repo=centosplus
43 #baseurl=http://mirror.centos.org/centos/$releasever/centosplus/
    ↪ $basearch/
44 gpgcheck=1
45 enabled=0
46 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-CentOS-6
47
48 #contrib - packages by Centos Users
49 [contrib]
50 name=CentOS-$releasever - Contrib
51 mirrorlist=http://mirrorlist.centos.org/?release=$releasever&arch=
    ↪ $basearch&repo=contrib
52 #baseurl=http://mirror.centos.org/centos/$releasever/contrib/$basearch/
53 gpgcheck=1
54 enabled=0
55 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-CentOS-6

```

Apêndice G

Conteúdo do ficheiro *epel.repo*

```
1 [epel]
2 name=Extra Packages for Enterprise Linux 6 - $basearch
3 #baseurl=http://download.fedoraproject.org/pub/epel/6/$basearch
4 mirrorlist=https://mirrors.fedoraproject.org/metalink?repo=epel-6&arch=
   ↪ $basearch
5 failovermethod=priority
6 enabled=0
7 gpgcheck=1
8 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-EPEL-6
9
10 [epel-debuginfo]
11 name=Extra Packages for Enterprise Linux 6 - $basearch - Debug
12 #baseurl=http://download.fedoraproject.org/pub/epel/6/$basearch/debug
13 mirrorlist=https://mirrors.fedoraproject.org/metalink?repo=epel-debug
   ↪ -6&arch=$basearch
14 failovermethod=priority
15 enabled=0
16 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-EPEL-6
17 gpgcheck=1
18
19 [epel-source]
20 name=Extra Packages for Enterprise Linux 6 - $basearch - Source
21 #baseurl=http://download.fedoraproject.org/pub/epel/6/SRPMS
22 mirrorlist=https://mirrors.fedoraproject.org/metalink?repo=epel-source
   ↪ -6&arch=$basearch
23 failovermethod=priority
24 enabled=0
25 gpgkey=file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-EPEL-6
26 gpgcheck=1
```


Apêndice H

Conteúdo do ficheiro *Internet2.repo*

```
1 # Name: Internet2 RPM Repository
2 # URL: http://software.internet2.edu
3 [Internet2]
4 name = Internet2 RPM Repository - software.internet2.edu - main
5 baseurl = http://software.internet2.edu/rpms/el6/$basearch/main/
6 enabled = 0
7 protect = 0
8 gpgkey = file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-Internet2
9 gpgcheck = 1
```


Apêndice I

Conteúdo do ficheiro

Internet2-web100_kernel.repo

```
1 # Name: Internet2 RPM Repository
2 # URL: http://software.internet2.edu
3 [Internet2-web100_kernel]
4 name = Internet2 Web100 Kernel RPM Repository - software.internet2.edu ↵
   ↵ - main
5 mirrorlist = http://software.internet2.edu/web100_kernel/rpms/el6/↵
   ↵ mirrors-Internet2-web100_kernel
6 enabled = 0
7 protect = 0
8 gpgkey = file:///etc/pki/rpm-gpg/RPM-GPG-KEY-Internet2
9 gpgcheck = 1
```


Apêndice J

Conteúdo do ficheiro

perfsonar-qos.php

```
1 <?php
2     // Pedro Queiros , baseado em Emanuel Massano
3     // Abril 2013
4
5     // Ver /opt/perfsonar_ps/perfsonarbuoy_ma/lib/OWP/Utils.pm
6     // para perceber como separar os valores do timestamp de 64 bit
7     // em 32 bit
8
9
10    // DEBUG?
11    $debug = 0;
12
13
14    // BD info
15    $host = "localhost";
16    $user = "user";
17    $password = "password";
18    $database = "owamp";
19
20
21    // Setup
22    if ($argc == 3) {
23        // Se parametros correctos , define variaveis
24        $ip_src = $argv[1];
25        $ip_dst = $argv[2];
26    }
27    else {
```

```

28     // Senao mostra utilizacao
29     echo "utilizacao: _$argv[0] _<ip_origem>_<ip_destino>\n";
30         echo "ip_origem_e_ip_destino_em_IPv4_ou_IPv6\n";
31     exit (1);
32 }
33
34
35 // Liga a BD do perfSonar
36 $db = new mysqli($host , $user , $password , $database);
37
38     if (mysqli_connect_errno()) {
39         echo "\nErro_a_fazer_a_ligacao_ao_MySQL: _" . $
↳ mysqli_connect_error() . "\n\n";
40         exit (1);
41     }
42
43
44     // Calcula a hora ha 5 minutos atras
45     date_default_timezone_set('UTC');
46     $time = date('U');
47     $start_time = $time - 300;
48     $log_time = date('D M j H:i:s T Y' , $time);
49     $begin_date = date('D M j H:i:s T Y' , $start_time);
50
51
52     // Formata o nome das tabelas a consultar
53     $N_date = date('Ymd' , $start_time) . "_NODES";
54     $DT_date = date('Ymd' , $start_time) . "_DATA";
55     $DL_date = date('Ymd' , $start_time) . "_DELAY";
56
57
58     // Procura os ID's dos IP's de origem e destino
59     $sql = "SELECT_node_id_FROM_$N_date_WHERE_addr='$ip_src' ";
60     $result = $db->query($sql);
61     if ($result->num_rows == 0) {
62         exit ("\nErro:_O_IP_de_origem_ao_existir_na_base_de_d
↳ dados_do_OWAMP!\n");
63     }
64
65     $row = $result->fetch_assoc();
66     $result->free();
67     $src_id = $row['node_id'];
68
69

```

```

70     $sql = "SELECT _node_id FROM $N_date WHERE addr='$ip_dst' ";
71     $result = $db->query($sql);
72     if ($result->num_rows == 0) {
73         exit ("\nErro: _O_IP_de_destino_nao_existe_na_base_de_d
↳ dados_do_OWAMP!\n");
74     }
75
76     $row = $result->fetch_assoc();
77     $result->free();
78     $dst_id = $row['node_id'];
79
80
81     // DEBUG
82     if ($debug == 1) {
83         echo "Source_ID:_ " . $src_id . "\nDestination_ID:_ " .
↳ $dst_id . "\n\n";
84     }
85
86
87     // Estamos prontos para ir buscar os valores a BD
88     // Comeamos pela tabela DATA, onde tem o resumo das medicoes
89     $sql = "SELECT _send_id , _recv_id , _tspec_id , _si , _ei , _((timestamp
↳ /power(2,32))-2208988800)_as_timestamp , _min , _max , _sent , _lost ,
↳ dups , _maxerr FROM $DT_date WHERE _send_id=$src_id AND _recv_id=
↳ $dst_id AND ((timestamp/power(2,32))-2208988800)>$start_time";
90     $result = $db->query($sql);
91
92     if ($debug == 1) {
93         echo "QUERY:_ " . $sql . "\n\n";
94     }
95
96     if ($result->num_rows == 0) {
97         exit ("Ainda_nao_existem_dados_disponiveis_na_base_de_d
↳ dados_do_OWAMP_... \n");
98     }
99
100    // histograma aqui para fazer array dos ultimos 5 minutos
101    $histogram = array();
102    $data_min = 999999999;
103    $data_max = 0;
104    $data_sent = 0;
105    $data_lost = 0;
106    $data_dups = 0;
107    $data_maxerr = 0;

```

```

108
109     while ($row = $result->fetch_assoc()) {
110         // histograma aqui para fazer array do ultimo minuto
111         // $histogram = array();
112         $data_send_id = $row["send_id"];
113         $data_recv_id = $row["recv_id"];
114         $data_tspec_id = $row["tspec_id"];
115         $data_si = $row["si"];
116         $data_ei = $row["ei"];
117         $data_min = ($row["min"] < $data_min ? $row["min"] : ↵
↵ $data_min);
118         $data_max = ($row["max"] > $data_max ? $row["max"] : ↵
↵ $data_max);
119         $data_sent += $row["sent"];
120         $data_lost += $row["lost"];
121         $data_dups += $row["dups"];
122         $data_maxerr = ($row["maxerr"] > $data_maxerr ? $row["↵
↵ maxerr"] : $data_maxerr);
123         $pkt_loss = ($data_lost / $data_sent) * 100;
124
125         if ($debug == 1) {
126             printf ("min: %s\nmax: %s\nsent: %s\nlost: %s\ndups: %s ↵
↵ \nmaxerr: %s\ntimestamp: %s\n\n", $row["min"], $row["max"], $row[↵
↵ "sent"], $row["lost"], $row["dups"], $row["maxerr"], $row["↵
↵ timestamp"]);
127         }
128
129
130         // Vamos buscar agora os valores correspondentes a esta ↵
↵ medicaao a tabela de DELAY e construir o histograma
131         $sql = "SELECT _bucket_width, _basei, _i, _n FROM $DL_date ↵
↵ WHERE _send_id=$data_send_id AND _recv_id=$data_recv_id AND ↵
↵ _tspec_id=$data_tspec_id AND _si=$data_si AND _ei=$data_ei";
132         $result2 = $db->query($sql);
133
134         if ($result2->num_rows == 0) {
135             exit ("Nao existem dados na tabela DELAY do ↵
↵ OWAMP associados a query:\n\n" . $sql . "\n");
136         }
137
138         while ($row2 = $result2->fetch_assoc()) {
139
140             if ($debug == 1) {
141                 echo "bucket_width: ↵" . $row2["↵

```

```

↳ bucket_width" ] . "\n";
142         echo "basei:_ " . $row2["basei"] . "\n";
143         echo "i:_ " . $row2["i"] . "\n";
144         echo "n:_ " . $row2["n"] . "\n\n";
145     }
146
147     $n = $row2["n"];
148     while($n != 0) {
149         array_push($histogram , ($row2["basei"] ↵
↳ + $row2["i"]) * $row2["bucket_width"]);
150         $n--;
151     }
152 }
153 $result2 ->free ();
154 }
155 $result ->free ();
156
157
158 // Vamos trabalhar sobre o histograma e determinar os percentis ↵
↳ / outliers
159 sort($histogram);
160
161 if ($debug == 1) {
162     echo "histogram:_\n";
163     print_r ($histogram);
164 }
165
166 // Funcoes para calcular os percentis e outliers
167 // Ver http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section1/↵
↳ prc16.htm
168 $P25 = $histogram[round((25/100) * count($histogram) - 0.5) - ↵
↳ 1];
169 $P50 = $histogram[round((50/100) * count($histogram) - 0.5) - ↵
↳ 1];
170 $P75 = $histogram[round((75/100) * count($histogram) - 0.5) - ↵
↳ 1];
171 $P95 = $histogram[round((95/100) * count($histogram) - 0.5) - ↵
↳ 1];
172 $IQR = $P75 - $P25;
173 $IF = $P75 + (1.5 * $IQR);
174 $OF = $P75 + (3 * $IQR);
175
176 $delay_min = $histogram[0];
177 $delay_max = $histogram[count($histogram) - 1];

```

```

178
179     if ($debug == 1) {
180         echo "\n25th_percentile:_ " . $P25 . "\n";
181         echo "50th_percentile:_ " . $P50 . "\n";
182         echo "75th_percentile:_ " . $P75 . "\n";
183         echo "95th_percentile:_ " . $P95 . "\n";
184         echo "IQR_(P75_-_P25):_ " . $IQR . "\n";
185         echo "Inner_fence:_ " . $IF . "\n";
186         echo "Outer_fence:_ " . $OF . "\n";
187         echo "jitter_(P95_-_P50):_ " . ($P95 - $P50) . "\n\n";
188
189         printf ("Run_time:_%s\n---_Last_5_minutes_stats_---\n
↳ nData_min:_%s_|_Delay_min:_%s\nData_max:_%s_|_Delay_max:_%s\n
↳ nTotal_sent:_%s\nTotal_lost:_%s\nTotal_dups:_%s\nMax_err:_%s\n\n\n
↳ n", $log_time, $data_min, $delay_min, $data_max, $delay_max,
↳ $data_sent, $data_lost, $data_dups, $data_maxerr);
190     }
191
192
193     // Exportar para CSV
194     // Time, Min (DATA), Max (DATA), Sent, Lost, Dups, Max error
↳ NTP, Min (DELAY), Max (DELAY), P25, P50, P75, P95, IQR, Inner
↳ Fence, Outer Fence
195     // printf ("%s, %s, %s,
↳ %s, %s, %s\n", $log_time, $data_min, $data_max, $data_sent,
↳ $data_lost, $data_dups, $data_maxerr, $delay_min, $delay_max,
↳ $P25, $P50, $P75, $P95, $IQR, $IF, $OF);
196
197
198     // Exportar para Cacti
199     $out = "";
200     $out .= "LatMin:" . $data_min . "_"; // Latencia
↳ minima
201     $out .= "LatMed:" . $P50 . "_"; //
↳ Latencia mediana
202     $out .= "LatMax:" . $data_max . "_"; // Latencia
↳ maxima
203     $out .= "LatP95:" . $P95 . "_"; //
↳ Percentil 95 latencia
204     $out .= "LatVar:" . ($P95 - $P50) . "_"; // Variacao da
↳ latencia ("jitter")
205     $out .= "PktLoss:" . $pkt_loss . "_"; // Percentagem
↳ de pacotes perdidos
206     $out .= "Dups:" . $data_dups . "_"; //

```

```
↳ Numero de pacotes duplicados
207     $out .= "NTPErr:" . $data_maxerr;           // Erro
↳ maximo do NTP
208
209     echo $out;
210
211     $db->close();
212     exit(0);
213 ?>
```


Apêndice K

Conteúdo do script *pS - Init DB*

Este *script* permite correr outro *script* destinado à inicialização da base de dados do perfSonar.

```
1 /sbin/service mysqld start
2 /opt/perfsonar_ps/toolkit/scripts/initialize_databases
3 /sbin/service mysqld stop
```


Apêndice L

Conteúdo do script *pS - Disable readahead*

Este *script* permite desativar a opção do CentOS 6 que permite fazer o *cache* de alguns ficheiros para acelerar o arranque do sistema. Num sistema sem ambiente gráfico (como é o caso), isto pode-se tornar um *overhead*.

```
1 sed -i 's/="yes\"/="no\"/g' /etc/sysconfig/readahead
```


Apêndice M

Conteúdo do script *Spacewalk config*

Este *script* permite ativar todas as ações de configuração de ficheiros. Para mais informações, por favor consultar: <http://red.ht/1b4XsZi>

```
1 rhn-actions-control --enable-all
```


Apêndice N

Conteúdo do script *Services config*

Este *script* permite ativar e desativar determinados serviços a correr na máquina. O serviço *osad* permite a execução mais imediata de acções executadas através da interface do Spacewalk (ver <https://fedorahosted.org/spacewalk/wiki/OsadHowTo>). O serviço *rhnmd* permite a monitorização das máquinas clientes do Spacewalk. O serviço *httpd* deve ser desativado, pois a sua utilização não será necessária nas sondas periféricas. Nas sondas centrais (Lisboa e Porto), este serviço deve ser ativado para configuração dos testes de *one-way delay* através da interface *web* do perfSONAR.

```
1 /sbin/chkconfig --level 345 osad on
2 /sbin/chkconfig --level 345 rhnmd on
3 /sbin/chkconfig --level 345 httpd off
```


Apêndice O

Conteúdo do script *Firewall config*

Este *script* permite configurar a *firewall*, recorrendo ao *iptables*.

```
1 #!/bin/bash
2 #####
3 # FCCN perfSonar Probes Firewall Script
4 # by Pedro Queirós, based on ESnet firewall rules
5 #
6 # see: http://fasterdata.es.net/performance-testing/perfsonar/ps-howto/2
7 # ↪ perfsonar-firewall-requirements/
8 # http://psps.perfsonar.net/toolkit/firewalls.html
9 #
10 # 02/10/2013
11 #####
12 # bin
13 IPTABLES=/sbin/iptables
14
15 # Stop iptables
16 /sbin/service iptables stop
17
18 # convenience for logging things we want to specifically deny
19 # $IPTABLES -N DENYLOG
20 # $IPTABLES -A DENYLOG -j LOG --log-prefix DENIED_HOST:
21 # $IPTABLES -A DENYLOG -j DROP
22 # $IPTABLES -A INPUT -j DENYLOG -s <someipORnetwork>
23
24 # Allow Loopback
25 $IPTABLES -A INPUT -i lo -j ACCEPT
26 $IPTABLES -A OUTPUT -o lo -j ACCEPT
27
28 # Accept ICMP/TCP/UDP as a default
```

```

29 $IPTABLES -A INPUT -p icmp --icmp-type any -j ACCEPT
30 $IPTABLES -A INPUT -m state --state ESTABLISHED,RELATED -j ACCEPT
31
32
33 # ----- Core perSONAR Services -----
34
35 # Incoming Web - TCP Ports 80 and 443
36 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --dport 80 -m state --state NEW,↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
37 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --sport 80 -m state --state ↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
38 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --dport 443 -m state --state NEW,↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
39 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --sport 443 -m state --state ↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
40
41 # Outgoing Web - TCP Ports 80 and 443
42 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 80 -m state --state NEW,↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
43 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 80 -m state --state ↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
44 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 443 -m state --state NEW,↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
45 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 443 -m state --state ↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
46
47 # NTP (Incoming and Outgoing) - UDP Port 123
48 $IPTABLES -A INPUT -p udp --sport 123 --dport 123 -m udp -j ACCEPT
49 $IPTABLES -A OUTPUT -p udp --dport 123 --sport 123 -m udp -j ACCEPT
50
51 # Outgoing DNS - UDP Port 53
52 $IPTABLES -A OUTPUT -p udp --dport 53 -m udp -j ACCEPT
53 $IPTABLES -A INPUT -p udp --sport 53 -m udp -j ACCEPT
54
55 # Incoming SSH - TCP Port 22
56 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
↵ dport 22 -j ACCEPT
57 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
↵ sport 22 -j ACCEPT
58
59 # Outgoing SSH - TCP Port 22
60 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 22 -m state --state NEW,↵
↵ ESTABLISHED -j ACCEPT

```

```

61 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 22 -m state --state ↯
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
62
63
64 # ===== perfSONAR Measurement Tools =====
65
66 # Ping/Traceroute/Tracepath - Allow Outside to inside
67 $IPTABLES -A INPUT -p icmp --icmp-type echo-request -j ACCEPT
68 $IPTABLES -A OUTPUT -p icmp --icmp-type echo-reply -j ACCEPT
69 $IPTABLES -A OUTPUT -p icmp --icmp-type time-exceeded -j ACCEPT
70 $IPTABLES -A OUTPUT -p icmp --icmp-type destination-unreachable -j ↯
    ↵ ACCEPT
71
72 # Ping/Traceroute/Tracepath - Allow Inside to outside
73 $IPTABLES -A OUTPUT -p icmp --icmp-type echo-request -j ACCEPT
74 $IPTABLES -A INPUT -p icmp --icmp-type echo-reply -j ACCEPT
75 $IPTABLES -A INPUT -p icmp --icmp-type time-exceeded -j ACCEPT
76 $IPTABLES -A INPUT -p icmp --icmp-type destination-unreachable -j ↯
    ↵ ACCEPT
77
78 # UDP Traceroute (Incoming and Outgoing)
79 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 33434:33534 -j ACCEPT
80 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 33434:33534 -j ACCEPT
81
82 # NPAD Control (Incoming)
83 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↯
    ↵ dport 8000 -j ACCEPT
84 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↯
    ↵ sport 8000 -j ACCEPT
85
86 # NPAD Test (Incoming and Outgoing)
87 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↯
    ↵ dport 8001:8020 -j ACCEPT
88 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↯
    ↵ sport 8001:8020 -j ACCEPT
89 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8001:8020 -m state --state ↯
    ↵ NEW,ESTABLISHED -j ACCEPT
90 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8001:8020 -m state --state ↯
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
91
92 # NDT Control (Incoming)
93 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↯
    ↵ dport 7123 -j ACCEPT

```

```

94 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 7123 -j ACCEPT
95
96 # NDT Test (Incoming and Outgoing)
97 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ dport 3001:3003 -j ACCEPT
98 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 3001:3003 -j ACCEPT
99 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 3001:3003 -m state --state \
    ↳ NEW,ESTABLISHED -j ACCEPT
100 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 3001:3003 -m state --state \
    ↳ ESTABLISHED -j ACCEPT
101
102 # OWAMP Control (Incoming and Outgoing)
103 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ dport 861 -j ACCEPT
104 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 861 -j ACCEPT
105 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ dport 861 -j ACCEPT
106 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 861 -j ACCEPT
107
108 # OWAMP Test (Incoming and Outgoing)
109 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 8760:8960 -j ACCEPT
110 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 8760:8960 -j ACCEPT
111 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 8760:8960 -j ACCEPT
112 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 8760:8960 -j ACCEPT
113
114 # BWCTL Control (Incoming and Outgoing)
115 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ dport 4823 -j ACCEPT
116 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 4823 -j ACCEPT
117 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ dport 4823 -j ACCEPT
118 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 4823 -j ACCEPT
119
120 # BWCTL Peer (Incoming and Outgoing, TCP and UDP)
121 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ dport 6001:6200 -j ACCEPT
122 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↳ sport 6001:6200 -j ACCEPT

```

```

123 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 6001:6200 -m state --state ↵
    ↵ NEW,ESTABLISHED -j ACCEPT
124 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 6001:6200 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
125
126 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 6001:6200 -j ACCEPT
127 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 6001:6200 -j ACCEPT
128 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 6001:6200 -j ACCEPT
129 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 6001:6200 -j ACCEPT
130
131 # BWCTL Test (Incoming and Outgoing, TCP and UDP)
132 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 5000:5600 -j ACCEPT
133 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 5000:5600 -j ACCEPT
134 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 5000:5600 -m state --state ↵
    ↵ NEW,ESTABLISHED -j ACCEPT
135 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 5000:5600 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
136
137 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 5000:5600 -j ACCEPT
138 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 5000:5600 -j ACCEPT
139 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 5000:5600 -j ACCEPT
140 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 5000:5600 -j ACCEPT
141
142 # BWCTL Test [Historic] (Incoming and Outgoing, TCP and UDP)
143 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 10101:10300 -j ACCEPT
144 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 10101:10300 -j ACCEPT
145 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 10101:10300 -m state --state ↵
    ↵ NEW,ESTABLISHED -j ACCEPT
146 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 10101:10300 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
147
148 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 10101:10300 -j ACCEPT
149 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 10101:10300 -j ACCEPT
150 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 10101:10300 -j ACCEPT
151 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 10101:10300 -j ACCEPT
152
153
154 # ----- Measurement Middleware -----
155
156 # perfSONAR gLS Echo (Incoming and Outgoing, TCP and UDP)

```

```

157 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ dport 7 -j ACCEPT
158 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ sport 7 -j ACCEPT
159 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ dport 7 -j ACCEPT
160 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ sport 7 -j ACCEPT
161
162 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 7 -j ACCEPT
163 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 7 -j ACCEPT
164 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 7 -j ACCEPT
165 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 7 -j ACCEPT
166
167 # perfSONAR SNMP MA (Incoming)
168 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ dport 8065 -j ACCEPT
169 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ sport 8065 -j ACCEPT
170
171 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ dport 9990 -j ACCEPT
172 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ sport 9990 -j ACCEPT
173
174 # perfSONAR Traceroute Control (Incoming and Outgoing)
175 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ dport 8086 -j ACCEPT
176 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ sport 8086 -j ACCEPT
177 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8086 -m state --state NEW,\
    ↪ ESTABLISHED -j ACCEPT
178 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8086 -m state --state \
    ↪ ESTABLISHED -j ACCEPT
179
180 # perfSONAR Traceroute Testing (Incoming and Outgoing)
181 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ dport 8087 -j ACCEPT
182 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --\
    ↪ sport 8087 -j ACCEPT
183 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8087 -m state --state NEW,\
    ↪ ESTABLISHED -j ACCEPT
184 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8087 -m state --state \
    ↪ ESTABLISHED -j ACCEPT

```

```

185
186 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 8087 -j ACCEPT
187 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 8087 -j ACCEPT
188 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 8087 -j ACCEPT
189 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 8087 -j ACCEPT
190
191 # perfSONAR PingER Control and Testing (Incoming and Outgoing)
192 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 8075 -j ACCEPT
193 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 8075 -j ACCEPT
194 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8075 -m state --state NEW,↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
195 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8075 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
196
197 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --dport 8075 -j ACCEPT
198 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --sport 8075 -j ACCEPT
199 $IPTABLES -A OUTPUT -m udp -p udp --dport 8075 -j ACCEPT
200 $IPTABLES -A INPUT -m udp -p udp --sport 8075 -j ACCEPT
201
202 # perfSONAR perfSONAR-BUOY Web Service (Incoming)
203 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 8085 -j ACCEPT
204 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 8085 -j ACCEPT
205
206 # perfSONAR perfSONAR-BUOY Control (Incoming and Outgoing)
207 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 8569:8570 -j ACCEPT
208 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 8569:8570 -j ACCEPT
209 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8569:8570 -m state --state ↵
    ↵ NEW,ESTABLISHED -j ACCEPT
210 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8569:8570 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
211
212 # perfSONAR Lookup Service (Incoming and Outgoing)
213 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 8090 -j ACCEPT
214 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 8090 -j ACCEPT
215 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8090 -m state --state NEW,↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT

```

```

216 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8090 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
217
218 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 8095 -j ACCEPT
219 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 8095 -j ACCEPT
220 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 8095 -m state --state NEW,↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
221 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 8095 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
222
223 $IPTABLES -A INPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ dport 9995 -j ACCEPT
224 $IPTABLES -A OUTPUT -m state --state NEW,ESTABLISHED -m tcp -p tcp --↵
    ↵ sport 9995 -j ACCEPT
225 $IPTABLES -A OUTPUT -m tcp -p tcp --dport 9995 -m state --state NEW,↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
226 $IPTABLES -A INPUT -m tcp -p tcp --sport 9995 -m state --state ↵
    ↵ ESTABLISHED -j ACCEPT
227
228 # =====
229
230 # log before we drop whatever is left.
231 # $IPTABLES -A INPUT -j LOG --log-prefix DROPPED_PACKET:
232
233 # Drop the rest
234 $IPTABLES -A INPUT -j REJECT --reject-with icmp-host-prohibited
235 $IPTABLES -A FORWARD -j REJECT --reject-with icmp-host-prohibited
236
237 # Save and restart
238 /sbin/service iptables save
239 /sbin/service iptables restart

```

Bibliografia

- [1] *ICT Facts and figures: The World in 2011*. Disponível em: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/facts/2011/material/ICTFactsFigures2011.pdf> (consultado em julho de 2012)
- [2] *Fundação para a Computação Científica Nacional*. Disponível em: <http://www.fccn.pt> (consultado em julho de 2012)
- [3] *A Rede Ciência, Tecnologia e Sociedade*. Disponível em: <http://www.fccn.pt/pt/rede-academica/> (consultado em julho de 2012)
- [4] *Renater*. Disponível em: <http://www.renater.fr> (consultado em julho de 2012)
- [5] *GEANT*. Disponível em: <http://www.geant.net/> (consultado em julho de 2012)
- [6] *Internet2*. Disponível em: <http://www.internet2.edu> (consultado em julho de 2012)
- [7] *The Story of the PING program*. Disponível em: <http://ftp.arl.mil/~mike/ping.html> (consultado em julho de 2012)
- [8] *Traceroute for Linux*. Disponível em: <http://traceroute.sourceforge.net> (consultado em julho de 2012)
- [9] *IP Performance Metrics*. Disponível em: <http://datatracker.ietf.org/wg/ippm/charter/> (consultado em julho de 2012)
- [10] *IP Performance Metrics (IPPM) Working Group*. Disponível em: <http://kb.pert.geant.net/PERTKB/IPPerformanceMetrics> (consultado em julho de 2012)
- [11] *A One-way Active Measurement Protocol (OWAMP)*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc4656> (consultado em julho de 2012)

- [12] *An implementation of the One-Way Active Measurement Protocol*. Disponível em: <http://www.internet2.edu/performance/owamp/index.html> (consultado em julho de 2012)
- [13] *QoSmet - Quality of Service Metrology*. Disponível em: <http://fabien.michaut.free.fr/qosmet/> (consultado em julho de 2012)
- [14] H. Veiga, T. Pinho, J. Oliveira, R. Valadas, P. Salvador, A. Nogueira, “*Active traffic monitoring for heterogeneous environments*”, publicado em 4th International Conference on Networking, ICN’05, April 17-21, 2005 - Reunion Island.
- [15] ZShu, Z., Kobayashi, K., “*HOTS: An OWAMP-Compliant Hardware Packet Timestamp Recorder*”, Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services, 2005. ICAS-ICNS 2005. Publicado em Joint International Conference, pp.32,32, Oct. 23-28 2005
- [16] Emanuele Goldoni and Marco Schivi, “*End-to-End Available Bandwidth Estimation Tools, an Experimental Comparison*”, publicado em Second international conference on Traffic Monitoring and Analysis (TMA’10), Fabio Ricciato, Marco Mellia, and Ernst Biersack (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 171-182, 2010
- [17] Navratil, J., Cottrell, R.L., “*ABwE: A Practical Approach to Available Bandwidth*”, publicado em Passive and Active Measurement Workshop (PAM’03), La Jolla, 2003
- [18] Goldoni, E.; Rossi, G.; Torelli, A., “*Assolo, a New Method for Available Bandwidth Estimation*”, Internet Monitoring and Protection, 2009. ICIMP ’09. Publicado em Fourth International Conference, pp.130,136, 24-28 Maio 2009
- [19] Johnsson, A., Melander, B., Björkman, M., “*DietTopp: A first implementation and evaluation of a simplified bandwidth measurement method*”, publicado em 2nd Swedish National Computer Networking Workshop, 2004
- [20] Ningning Hu, Steenkiste, P., “*Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques*”, publicado em IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 21, pp.879-894, 2003
- [21] Vinay J. Ribeiro, Rudolf H. Riedi, Richard G. Baraniuk, Jiri Navratil, Les Cottrell, “*pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths*”,

publicado em PAM 2003, 4th Passive and Active Measurement Workshop, 6 Abril 2002

- [22] Jain, M., Dovrolis, C., “*Pathload: A measurement tool for end-to-end available bandwidth*”, publicado em Passive and Active Measurements (PAM) Workshop, pp. 14-25, 2002
- [23] Jacob Strauss, Dina Katabi, Frans Kaashoek, “*A measurement study of available bandwidth estimation tools*”, publicado em IMC '03 Proceedings of the 3rd ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, pp. 39-44, 2003
- [24] Sommers, J., Barford, P., Willinger., W., “*A Proposed Framework for Calibration of Available Bandwidth Estimation Tools*”, publicado em Computers and Communications, 2006. ISCC '06. Proceedings. 11th IEEE Symposium, pp. 709,718, 26-29 Junho 2006
- [25] *iperf*. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/iperf/> (consultado em julho de 2012)
- [26] *nuttcp*. Disponível em: <http://www.lcp.nrl.navy.mil/nuttcp/stable/nuttcp.html> (consultado em julho de 2012)
- [27] *thrulay*. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/thrulay/> (consultado em julho de 2012)
- [28] *fping*. Disponível em: <http://fping.sourceforge.net/> (consultado em julho de 2012)
- [29] *hping*. Disponível em: <http://www.hping.org/> (consultado em julho de 2012)
- [30] *synack*. Disponível em: <http://www-iepm.slac.stanford.edu/tools/synack/> (consultado em julho de 2012)
- [31] Cisco, *Basic Multicast Troubleshooting Tools - mtrace*. Disponível em: http://www.cisco.com/en/US/tech/tk828/technologies_tech_note09186a0080093f21.shtml#mtrace (consultado em julho de 2012)
- [32] Veitch D., Augustin B., Friedman T., Teixeira R, “*Failure Control in Multipath Route Tracing*”, publicado em IEEE INFOCOM, 2009
- [33] Ítalo Cunha, Renata Teixeira, Christophe Diot, “*Measuring and Characterizing End-to-End Route Dynamics in the Presence of Load Balancing*”, publicado em

PAM'11 Proceedings of the 12th international conference on Passive and active measurement, pp. 235-244, 2011

- [34] *mtr*. Disponível em: <http://www.bitwizard.nl/mtr/> (consultado em julho de 2012)
- [35] *A Simple Network Management Protocol (SNMP)*. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1157.txt> (consultado em julho de 2012)
- [36] *SNMP version 3 Framework*. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3410.txt> (consultado em julho de 2012)
- [37] *Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II*. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1213.txt> (consultado em julho de 2012)
- [38] M. Grossglauser, J. Rexford, “*Passive Traffic Measurement for IP Operations*”, publicado em *The Internet as a Large-Scale Complex System* (Kihong Park and Walter Willinger, eds.), Oxford University Press, 2005
- [39] *Introduction to the Remote Monitoring (RMON) Family of MIB Modules*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc3577> (consultado em julho de 2012)
- [40] *TCPdump & libpcap*. Disponível em: <http://www.tcpdump.org> (consultado em julho de 2012)
- [41] *tcptrace*. Disponível em: <http://www.tcptrace.org> (consultado em julho de 2012)
- [42] *Wireshark - Network Protocol Analyzer*. Disponível em: <http://www.wireshark.org> (consultado em julho de 2012)
- [43] S. Ubik, P. Zejdl, “*Passive monitoring of 10Gb/s lines with pc hardware*”, publicado em *Terena Networking Conference (TNC2008)*, Bruges, Maio 2008
- [44] Wolfgang John, Sven Tafvelin, Tomas Olovsson, “*Passive internet measurement: Overview and guidelines based on experiences*”, publicado em *Computer Communications*, Volume 33, Número 5, pp. 533-550, 15 de Março de 2010
- [45] John Cleary, Stephen Donnelly, Ian Graham, Anthony McGregor, Murray Pearson, “*Design Principles for Accurate Passive Measurement*”, publicado em *PAM2000: The First Passive and Active Measurement Workshop*, 2000

- [46] *ENDACE DAG CARDS*. Disponível em: <http://www.endace.com/endace-dag-high-speed-packet-capture-cards.html> (consultado em julho de 2012)
- [47] Se-Hee Han, Myung-Sup Kim, Hong-Taek Ju, James Won-Ki Hong, “*The Architecture of NG-MON: a Passive Network Monitoring System for High-Speed IP Networks*”, publicado em DSOM '02 Proceedings of the 13th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management: Management Technologies for E-Commerce and E-Business Applications, pp. 16-27, 2002
- [48] *Traffic Flow Measurement: Architecture*. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2722.txt> (consultado em julho de 2012)
- [49] M. Molina, A. Chiosi, S. D’Antonio, G. Ventre, “*Design principles and algorithms for effective high-speed IP flow monitoring*”, publicado em Computer Communications, Volume 29, Número 10, pp. 1653-1664, Junho de 2005
- [50] *Cisco Systems*. Disponível em: <http://www.cisco.com> (consultado em julho de 2012)
- [51] *Cisco IOS Flexible NetFlow Technology White Paper*. Disponível em: http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/iosswrel/ps6537/ps6555/ps6601/ps6965/prod_white_paper0900aec804be1cc.html (consultado em julho de 2012)
- [52] *IP Flow Information Export*. Disponível em: <http://datatracker.ietf.org/wg/ipfix/charter/> (consultado em julho de 2012)
- [53] *Specification of the IP Flow Information Export (IPFIX) Protocol for the Exchange of IP Traffic Flow Information*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc5101> (consultado em julho de 2012)
- [54] *Information Model for IP Flow Information Export*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc5102> (consultado em julho de 2012)
- [55] *Bidirectional Flow Export Using IP Flow Information Export (IPFIX)*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc5103> (consultado em julho de 2012)
- [56] *sFlow*. Disponível em: <http://www.sflow.org/sFlowOverview.pdf> (consultado em julho de 2012)

- [57] *ntop*. Disponível em: <http://www.ntop.org/products/ntop/> (consultado em julho de 2012)
- [58] *nProbe*. Disponível em: <http://www.ntop.org/products/nprobe/> (consultado em julho de 2012)
- [59] Nick Duffield, “*Sampling for Passive Internet Measurement: A Review*”, publicado em *Statistical Science*, Volume 19, pp. 472-498, 2004
- [60] B.-Y. Choi, J. Park, Z.-L. Zhang, “*Adaptative packet sampling for accurate and scalable flow measurement*”, publicado em *Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '04*. IEEE, vol.3, pp.1448-1452, 29 Nov-3 Dez, 2004
- [61] C. Estan, G. Varghese, “*New directions in traffic measurement and accounting*”, publicado em *SIGCOMM '02 Proceedings of the 2002 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 323-336, 2002
- [62] N. Duffield, C. Lund, M. Thorup, “*Properties and prediction of flow statistics from sampled packet streams*”, publicado em *IMW '02 Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurement*, pp. 159-171, 2002
- [63] E. Cohen, N. Duffield, H. Kaplan, C. Lund, M. Thorup, “*Algorithms and estimators for accurate summarization of internet traffic*”, publicado em *IMC '07 Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pp. 265-278, 2007
- [64] *Surveyor*. Disponível em: http://www.isoc.org/inet99/proceedings/4h/4h_2.htm#surveyor (consultado em julho de 2012)
- [65] *RIPE*. Disponível em: <http://www.ripe.net/> (consultado em julho de 2012)
- [66] *RIPE Test Traffic Measurement Service*. Disponível em: <http://www.ripe.net/data-tools/stats/ttm/test-traffic-measurement-service> (consultado em julho de 2012)
- [67] *TTM summaries for tt185.ripe.net - ZON TVCabo Portugal*. Disponível em: <http://bit.ly/0CpWJx> (consultado em julho de 2012)
- [68] *RIPE Atlas Roadmap: August 2012 Update*. Disponível em: <https://labs.ripe.net/Members/becha/ripe-atlas-roadmap-august-2012-update> (consultado em agosto de 2012)

- [69] *RIPE Atlas*. Disponível em: <https://atlas.ripe.net> (consultado em agosto de 2012)
- [70] *perfSonar Services*. Disponível em: <http://www.perfsonar.net/services.html> (consultado em julho de 2012)
- [71] *perfSonar*. Disponível em: <http://www.perfsonar.net> (consultado em julho de 2012)
- [72] *PingER*. Disponível em: <http://www-iepm.slac.stanford.edu/pinger/> (consultado em julho de 2012)
- [73] *Etomic*. Disponível em: <http://www.etomic.org/> (consultado em julho de 2012)
- [74] *Etomic participants*. Disponível em: <http://www.etomic.org/index.php?page=participants> (consultado em julho de 2012)
- [75] *CAIDA*. Disponível em: <http://www.caida.org/> (consultado em julho de 2012)
- [76] *Archipelago Measurement Infrastructure*. Disponível em: <http://www.caida.org/projects/ark/> (consultado em julho de 2012)
- [77] *CAIDA Performance Measurement Tools Taxonomy*. Disponível em: <http://www.caida.org/tools/taxonomy/performance.xml> (consultado em julho de 2012)
- [78] *SolarWinds Network Performance Monitor*. Disponível em: <http://www.solarwinds.com/network-performance-monitor.aspx> (consultado em julho de 2012)
- [79] *CA Network Flow Analysis*. Disponível em: <http://www.ca.com/us/monitor-network-traffic.aspx> (consultado em julho de 2012)
- [80] *Cisco IOS IP Service Level Agreements*. Disponível em: http://www.cisco.com/en/US/tech/tk920/tsd_technology_support_sub-protocol_home.html (consultado em julho de 2012)
- [81] *Paessler PRTG Network Monitor*. Disponível em: <http://www.paessler.com/prtg> (consultado em julho de 2012)
- [82] *FCCN - Diagrama da RCTS*. Disponível em: <http://www.fccn.pt/pt/rede-academica/diagrama-da-rede/> (consultado em junho de 2012)

- [83] Emanuel Massano, “*SONAR - Supervisão da RCTS*”, 2008
- [84] *MSI - Mainboard KM4M-V detail specification*. Disponível em: <http://www.msi.com/product/mb/KM4M-V.html#/?div=Detail> (consultado em junho de 2012)
- [85] *CentOS*. Disponível em: <http://www.centos.org> (consultado em junho de 2012)
- [86] *Red Hat*. Disponível em: <http://www.redhat.com> (consultado em junho de 2012)
- [87] *SanDisk Ultra® CompactFlash® Cards Datasheet*. Disponível em: http://www.sandisk.com/media/416788/ultra_set_up_sheet_CF_AM.pdf (consultado em junho de 2012)
- [88] *ThinkWiki - CompactFlash boot drive*. Disponível em: http://www.thinkwiki.org/wiki/CompactFlash_boot_drive (consultado em junho de 2012)
- [89] *The Robotino forum - Thread: CF-Card / Harddisk*. Disponível em: <http://forum.openrobotino.org/showthread.php?25-CF-Card-Harddisk> (consultado em junho de 2012)
- [90] *Sandisk Knowledge Base - Enabling Fixed Disk mode on SanDisk CompactFlash cards*. Disponível em: http://kb.sandisk.com/app/answers/detail/a_id/51/ (consultado em junho de 2012)
- [91] *Derkeiler Linux Kernel Mailing-List*. Disponível em: <http://linux.derkeiler.com/Mailing-Lists/Kernel/2007-10/msg03235.html> (consultado em junho de 2012)
- [92] *FreeNAS forum - Thread: Various CF Card errors when installing/upgrading*. Disponível em: <http://sourceforge.net/apps/phpbb/freenas/viewtopic.php?f=38&t=45> (consultado em junho de 2012)
- [93] *Linux For Devices - Open source camera records geotagged video to SATA HDD*. Disponível em: <http://www.linuxfordevices.com/c/a/Linux-For-Devices-Articles/Open-source-camera-records-geotagged-video-to-SATA-HDD/> (consultado em junho de 2012)
- [94] *pfSense project forum - Thread: CF adapters, DMA, and detection*. Disponível em: <http://forum.pfsense.org/index.php?topic=23903.0> (consultado em junho de 2012)

- [95] *FreeBSD forum - Thread: FreeBSD 8.1 on Compact Flash (CF Card)*. Disponível em: <http://forums.freebsd.org/archive/index.php/t-20852.html> (consultado em junho de 2012)
- [96] *SanDisk CompactFlash read/write speeds and UDMA information*. Disponível em: http://kb.sandisk.com/app/answers/detail/a_id/31/~sandisk-compactflash-read%2Fwrite-speeds-and-udma-information (consultado em junho de 2012)
- [97] *Sandisk Knowledge Base - SanDisk CompactFlash read/write speeds and UDMA information*. Disponível em: http://kb.sandisk.com/app/answers/detail/a_id/31/related/1/ (consultado em junho de 2012)
- [98] *top(1) - Linux man page*. Disponível em: <http://linux.die.net/man/1/top> (consultado em junho de 2012)
- [99] *hdparm(8) - Linux man page*. Disponível em: <http://linux.die.net/man/8/hdparm> (consultado em junho de 2012)
- [100] *Mythical Noppatech Blog. Using Compact Flash with Ubuntu*. Disponível em: <http://noppatech.wordpress.com/2010/10/08/using-compact-flash-with-ubuntu/> (consultado em junho de 2012)
- [101] *The Linux Kernel Archives. Kernel Parameters*. Disponível em: <http://www.kernel.org/doc/Documentation/kernel-parameters.txt> (consultado em junho de 2012)
- [102] *Frank Rysanek of FCC PS. CompactFlash cards and DMA/UDMA support in True IDE (tm) mode*. Disponível em: <http://www.fccps.cz/download/adv/frr/cf.html> (consultado em junho de 2012)
- [103] *Ecliptek Corporation. Kernel Parameters*. Disponível em: <http://www.ecliptek.com> (consultado em junho de 2013)
- [104] *NTP - Clock Quality*. Disponível em: <http://www.ntp.org/ntpfaq/NTP-s-sw-clocks-quality.htm> (consultado em março de 2013)
- [105] *Lectures on distributed systems - Clock Synchronization*. Disponível em: <http://www.cs.rutgers.edu/~pxk/rutgers/notes/content/08-clocks.pdf> (consultado em março de 2013)

- [106] J. Ridoux, D. Veitch, “*Principles of Robust timing over the internet*”, publicado em Communications of the ACM, Volume 53, Número 5, pp. 54-61, Maio 2010
- [107] C. Murta, P. Torres-Jr., P. Mohapatra, “*Characterizing Quality of Time and Topology in a Time Synchronization Network*”, publicado em 49th IEEE Global Telecommunications Conference, IEEE GLOBECOM, 2006
- [108] Chi-Yao Hong, Chia-Chi Lin, M. Caesar, “*Clockscalpel: Understanding root causes of Internet clock synchronization inaccuracy*”, publicado em 12th International Conference, PAM 2011, pp.204-213, 20-22 Março, 2011
- [109] *National Research Council Canada - What is a Cesium Atomic Clock?*. Disponível em: <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/services/inms/time-services/faq-time.html#Q10> (consultado em março de 2013)
- [110] *Science Museum - Atomic Clocks*. Disponível em: http://www.sciencemuseum.org.uk/onlinestuff/stories/atomic_clocks.aspx?keywords=atomic (consultado em março de 2013)
- [111] *The USNO Cesium Fountain Project*. Disponível em: <http://tycho.usno.navy.mil/clockdev/cesium.html> (consultado em março de 2013)
- [112] *NPL - Operation of Atomic Fountain*. Disponível em: <http://www.npl.co.uk/science-technology/time-frequency/research/microwave-frequency-standards/operation-of-atomic-fountain> (consultado em março de 2013)
- [113] *BIPM - International Atomic Time*. Disponível em: <http://www.bipm.org/en/scientific/tai/tai.html> (consultado em março de 2013)
- [114] *NIST's Second 'Quantum Logic Clock' Based on Aluminum Ion is Now World's Most Precise Clock*. Disponível em: http://www.nist.gov/pml/div688/logicclock_020410.cfm (consultado em março de 2013)
- [115] *NTP: The Network Time Protocol*. Disponível em: <http://www.ntp.org/> (consultado em março de 2013)
- [116] *Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc5905> (consultado em março de 2013)

- [117] *IEEE 1588 Standard for A Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. Disponível em: <http://www.nist.gov/el/isd/ieee/ieee1588.cfm> (consultado em março de 2013)
- [118] *RADclock*. Disponível em: <http://www.synclab.org/radclock/> (consultado em março de 2013)
- [119] T. Skeie, S. Johannessen, O. Holmeide, “*Highly Accurate Time Synchronization over Switched Ethernet*”, publicado em *Emerging Technologies and Factory Automation*, 8th IEEE International Conference, vol.1, pp.195-204, 15-18 Out. 2001
- [120] S. Butner, S. Vahey, “*Nanosecond-scale Event Synchronization over Local-area Networks*”, publicado em *Local Computer Networks 2002*, 27th Annual IEEE Conference, pp.261,269, 6-8 Nov. 2002
- [121] J. Ridoux, D. Veitch, T. Broomhead, “*The Case for Feed-Forward Clock Synchronization*”, publicado em *Networking, IEEE/ACM Transactions*, vol.20, no.1, pp.231-242, Fev. 2012
- [122] D. Mills, “*Adaptive Hybrid Clock Discipline Algorithm for the Network Time Protocol*”, publicado em *Networking, IEEE/ACM Transactions*, vol.6, no.5, pp.505-514, Out. 1998
- [123] *Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc5905#section-14> (consultado em março de 2013)
- [124] S. Johannessen, “*Time Synchronization in a Local Area Network*”, publicado em *Control Systems, IEEE*, vol.24, no.2, pp.61-69, Abril 2004
- [125] *PTP daemon*. Disponível em: <http://ptpd.sourceforge.net> (consultado em março de 2013)
- [126] *Openntp*. Disponível em: <http://www.sourceforge.net/projects/openntp/> (consultado em março de 2013)
- [127] *Domain Time II*. Disponível em: <http://www.greynware.com/software/domaintime/index.asp> (consultado em março de 2013)

- [128] *Symmetricom SyncPoint PCIe-1000*. Disponível em: <http://www.symmetricom.com/products/bus-level-timing/pci-express/SyncPoint-PCIe-1000-PTP-Clock-Card/> (consultado em março de 2013)
- [129] *Omicron Lab OTMC 100*. Disponível em: <http://www.omicron-lab.com/otmc-100/product-description.html> (consultado em março de 2013)
- [130] *Tekron GPS Clock - TCG O2-E*. Disponível em: <http://www.tekroninternational.com/gps-clock-tcg-02-e> (consultado em março de 2013)
- [131] *List of PTP implementations*. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_PTP_implementations (consultado em março de 2013)
- [132] *RADclock Downloads*. Disponível em: <http://www.synclab.org/radclock/download.php> (consultado em março de 2013)
- [133] A. Pásztor, D. Veitch, “*PC Based Precision Timing Without GPS*”, publicado em SIGMETRICS '02, Proceedings of the 2002 ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems, pp. 1-10, 2002
- [134] D. Veitch, S. Babu, A. Pásztor, “*Robust Synchronization of Software Clocks Across the Internet*”, apresentado em Internet Measurement Conference, 25-27 Outubro 2004
- [135] E. Corell, P. Saxholm, D. Veitch, “*A User Friendly TSC Clock*”, publicado em Passive and Active Measurement Conference, 2006
- [136] J. Ridoux, D. Veitch, “*A Methodology for Clock Benchmarking*”, publicado em Testbeds and Research Infrastructure for the Development of Networks and Communities, 2007. TridentCom 2007. 3rd International Conference, pp.1-10, 21-23 Maio 2007
- [137] M. Davis, B. Villain, J. Ridoux, Anne-Cécile Orgerie, D. Veitch, “*An IEEE-1588 Compatible RADclock*”, publicado em Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS), 2012 International IEEE Symposium, pp.1-6, 24-28 Set. 2012
- [138] B. Villain, M. Davis, J. Ridoux, D. Veitch, N. Normand, “*Probing the Latencies of Software Timestamping*”, publicado em Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS), 2012 International IEEE Symposium, pp.1-6, 24-28 Set. 2012

- [139] J. Levine, “*Efficient Time Transfer using the Internet*”, publicado em Frequency Control Symposium and PDA Exhibition, 2002. IEEE International, pp.522-529, 2002
- [140] Anne-Cécile Orgerie, P. Gonçalves, M. Imbert, J. Ridoux, D. Veitch, “*Survey of network metrology platforms*”, publicado em Applications and the Internet (SAINT), 2012 IEEE/IPSJ 12th International Symposium, pp.220-225, 16-20 Julho 2012
- [141] *Network Time System*. Disponível em: <http://nts.softros.com/> (consultado em março de 2013)
- [142] *Cacti*. Disponível em: <http://www.cacti.net/> (consultado em junho de 2013)
- [143] *ESnet*. Disponível em: <http://www.es.net/> (consultado em junho de 2013)
- [144] *RNP*. Disponível em: <http://www.rnp.br/> (consultado em junho de 2013)
- [145] *Open Grid Forum's Network Measurement Working Group*. Disponível em: <http://nmwg.internet2.edu> (consultado em junho de 2013)
- [146] D. Vicinanza, “*Intercontinental Multi-Domain Monitoring for LHC with perfSONAR*”, publicado em Journal of Physics: Conference Series, Volume 396, Part 4, 2012
- [147] *perfSONAR Multi Domain Monitoring*. Disponível em: <https://forge.geant.net/forge/display/perfsonar/Home> (consultado em junho de 2013)
- [148] *perfSONAR Perl Services*. Disponível em: <http://psps.perfsonar.net/> (consultado em junho de 2013)
- [149] *Java*. Disponível em: <http://www.java.com/> (consultado em junho de 2013)
- [150] *PerfSONAR MDM Monthly Service Report*. Disponível em: http://geant3.archive.geant.net/service/PerfSONAR/Resources/Documents/PerfSONAR_Report_May_2013%20V1.0.pdf (consultado em junho de 2013)
- [151] *perfSONAR-PS Performance Toolkit*. Disponível em: <http://psps.perfsonar.net/toolkit/> (consultado em junho de 2013)
- [152] *Yum*. Disponível em: <http://fedoraproject.org/wiki/Yum> (consultado em junho de 2013)

- [153] *Perl*. Disponível em: <http://www.perl.org/> (consultado em junho de 2013)
- [154] *perfSONAR User Interface*. Disponível em: <http://www.perfsonar.net/perfsonarUI.html> (consultado em junho de 2013)
- [155] *LHC Optical Private Network*. Disponível em: <http://lhcopn.web.cern.ch/lhcopn/> (consultado em junho de 2013)
- [156] *LHC Open Network Environment*. Disponível em: <http://lhcone.net/> (consultado em junho de 2013)
- [157] *perfSONAR NC*. Disponível em: <https://trac.uninett.no/perfsonarnc> (consultado em junho de 2013)
- [158] A. Oslebo, “*Share and visualize your data using the perfSONAR NC framework*”, publicado em Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE, pp.838-852, 16-20 Abril 2012
- [159] *NETCONF*. Disponível em: <http://trac.tools.ietf.org/wg/netconf/trac/wiki> (consultado em junho de 2013)
- [160] *Yang*. Disponível em: <https://tools.ietf.org/html/rfc6020> (consultado em junho de 2013)
- [161] *PHP*. Disponível em: <http://php.net/> (consultado em junho de 2013)
- [162] *perfSONAR MDM - perfSONAR PS Comparison*. Disponível em: <https://indico.in2p3.fr/getFile.py/access?contribId=21&sessionId=2&resId=0&materialId=paper&confId=6900> (consultado em junho de 2013)
- [163] *BWCTL*. Disponível em: <http://www.internet2.edu/performance/bwctl/> (consultado em junho de 2013)
- [164] *BWCTL Architecture*. Disponível em: <http://www.internet2.edu/performance/bwctl/architecture.html> (consultado em junho de 2013)
- [165] *WiN-Labor*. Disponível em: <http://www.win-labor.dfn.de/English/mainpage.html> (consultado em junho de 2013)
- [166] *Regional Computing Centre Erlangen*. Disponível em: <http://www.rrze.uni-erlangen.de/> (consultado em junho de 2013)

- [167] *One-way Delay*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc2679> (consultado em junho de 2013)
- [168] *ESnet perfSONAR Dashboard*. Disponível em: <http://ps-dashboard.es.net> (consultado em julho de 2013)
- [169] *What are outliers in the data?*. Disponível em: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section1/prc16.htm> (consultado em julho de 2013)
- [170] *RedIRIS*. Disponível em: <http://www.rediris.es> (consultado em julho de 2013)
- [171] *Jitter Delay*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc3393> (consultado em junho de 2013)
- [172] *Packet loss*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc2680> (consultado em junho de 2013)
- [173] *OWAMP Details*. Disponível em: <http://www.internet2.edu/performance/owamp/details.html> (consultado em junho de 2013)
- [174] *OWAMP Details*. Disponível em: <http://www.internet2.edu/performance/owamp/details.html#NTP> (consultado em junho de 2013)
- [175] *A Kernel Model for Precision Timekeeping*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc1589#section-5> (consultado em junho de 2013)
- [176] *Munin*. Disponível em: <http://munin-monitoring.org/> (consultado em junho de 2013)
- [177] *Chef*. Disponível em: <http://www.opscode.com/chef/> (consultado em junho de 2013)
- [178] *BCFG2*. Disponível em: <http://trac.mcs.anl.gov/projects/bcfg2/> (consultado em junho de 2013)
- [179] *Puppet*. Disponível em: <https://puppetlabs.com/puppet/what-is-puppet/> (consultado em junho de 2013)
- [180] *CFEngine*. Disponível em: <http://cfengine.com/> (consultado em junho de 2013)

- [181] *Spacewalk*. Disponível em: <http://spacewalk.redhat.com> (consultado em junho de 2013)
- [182] *Red Hat Network Satellite*. Disponível em: <http://www.redhat.com/products/enterprise-linux/rhn-satellite/> (consultado em junho de 2013)
- [183] *Extra Packages for Enterprise Linux*. Disponível em: <http://fedoraproject.org/wiki/EPEL> (consultado em junho de 2013)
- [184] *Red Hat Enterprise Linux*. Disponível em: <http://www.redhat.com/products/enterprise-linux/> (consultado em junho de 2013)
- [185] *CentOS: Community ENTerprise Operating System*. Disponível em: <http://www.centos.org/> (consultado em junho de 2013)
- [186] *Scientific Linux*. Disponível em: <https://www.scientificlinux.org/> (consultado em junho de 2013)
- [187] *Fedora*. Disponível em: <http://fedoraproject.org/> (consultado em junho de 2013)
- [188] *Anaconda/Kickstart*. Disponível em: <http://fedoraproject.org/wiki/Anaconda/Kickstart> (consultado em junho de 2013)
- [189] *Cobbler*. Disponível em: <http://www.cobblerd.org/> (consultado em junho de 2013)
- [190] *pS-Performance Toolkit using firewalls*. Disponível em: <http://psps.perfsonar.net/toolkit/firewalls.html> (consultado em junho de 2013)
- [191] *Spacewalk Installation Instructions*. Disponível em: <https://fedorahosted.org/spacewalk/wiki/HowToInstall> (consultado em junho de 2013)
- [192] *The netfilter.org "iptables" project*. Disponível em: <http://www.netfilter.org/projects/iptables/> (consultado em junho de 2013)
- [193] *Cloudforms*. Disponível em: <http://www.redhat.com/solutions/cloud-computing/red-hat-cloud/private-clouds-cloudforms.html> (consultado em junho de 2013)
- [194] *Katello*. Disponível em: <https://fedorahosted.org/katello/> (consultado em junho de 2013)

- [195] *pS-Performance Toolkit hardware recommendations*. Disponível em: <http://psps.perfsonar.net/toolkit/hardware.html> (consultado em junho de 2013)
- [196] *ESnet perfSONAR Hardware Recommendations*. Disponível em: <http://fasterdata.es.net/performance-testing/perfsonar/ps-howto/hardware/> (consultado em junho de 2013)
- [197] *IEEE 802.1AS - Timing and Synchronization*. Disponível em: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1as.html> (consultado em outubro de 2013)