### Eduardo Fernandes Saad

## MONITORAMENTO DE REDE COM PERFSONAR UTILIZANDO IOTS E DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO

Brasil

### Eduardo Fernandes Saad

## MONITORAMENTO DE REDE COM PERFSONAR UTILIZANDO IOTS E DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Física do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, como requisito parcial para a obtenção do Título de mestre em Física. Orientador. Prof. Dr Nilton Alves Júnior

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF Programa de Pós-Graduação em Física Aplicada

Orientador: Dr. Nilton Alves Jr.

Brasil

2019

#### Eduardo Fernandes Saad

MONITORAMENTO DE REDE COM PERFSONAR UTILIZANDO IOTs E DIS-POSITIVO DE BAIXO CUSTO/ Eduardo Fernandes Saad. – Brasil, 2019-81p. : il.

Orientador: Dr. Nilton Alves Jr.

Tese (Mestrado) – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF Programa de Pós-Graduação em Física Aplicada, 2019.

1. Monitoramento de rede. 2. Monitoramento com PerfSonar. 2. Monitoramento com IoT. I. Dr. Nilton Alves Jr. II. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF. III. Física Aplicada. IV. MONITORAMENTO DE REDE COM PERFSONAR COM IOTS E DISPOSITIVOS DE BAIXO CUSTO





# "DESEMPENHO DA FERRAMENTA DE MONITORAMENTO perfSONAR UTILIZANDO DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO"

### **EDUARDO FERNANDES SAAD**

Dissertação de Mestrado Profissional em Física com ênfase em Instrumentação Científica, apresentada no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação. Fazendo parte da banca examinadora os seguintes professores:

Nilton Alves Junior - Presidente/CBPF

Leandro Aureliano da Silva - FACTHUS

Márcio Portes de Albuquerque - CBPF

Rio de Janeiro, 30 de julho de 2019.



## Agradecimentos

Em princípio agradeço ao grande arquiteto do universo pela oportunidade de viver minha existência neste orbe azul e cheio de obras lindas da natureza cujo leme é conduzido por Jesus.

Agradeço também a minha mãe, que foi o exemplo de esforço nos estudos, educação, resiliência e amor em minha educação e na obra de sua vida dedicada à construção de uma escola junto ao seu companheiro, meu pai.

Agradeço à minha companheira de jornada de vida cuja construção de minha maturidade cultural e moral foi e é peça principal e fundamental me incentivando conquistas acadêmicas, profissionais e de vida.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Nilton Alves Júnior, que ao longo do tempo se mostrou um grande homem, tornando um amigo querido e perpétuo.

Agradeço também aos professores Romeu Abrahão Pereira cuja vida de estudos me inspirou, professor Alexandre Melo com sua presteza e sabedoria, professores do CBPF que mostrou uma dedicação imensa no trabalho da pesquisa.

Por fim agradeço a ex diretora de minha instituição Maria Heliodora Romeiro Colaço, o atual diretor Dr. George Kemil Abdalla pelo incentivo. Não menos importante, aos meus colegas professores Roberto de Campos, Me. William Gigo, Dr. Leandro Aureliano, Cleiton Silviano pelo estímulo e apoio mútuo.



## Resumo

A internet surgiu da necessidade de transmitir dados entre computadores e a consequente qualidade desta transmissão. Assim o monitoramento da comunicação vem para garantir a entrega das informações com eficiência. O foco principal estudado neste trabalho é o software de monitoramento PerfSONAR, ferramenta de monitoração e diagnóstico de código aberto que envolve diversos domínios e pode ser implementado em arquiteturas de computadores com processadores ARM, cuja Raspberry Pi se inclui e foi concebido como um minicomputador de baixo custo. O software oferece alguns pacotes de instalação: Tools; Testpoint; Core; Toolkit; Centralmanagement. Neste trabalho, foi realizado quatro estudos de caso. No primeiro ocorreu a análise da compatibilidade do minicomputador Raspberry PI em relação a dois sistemas operacionais e cada pacote instalado desta ferramenta. Cada sistema operacional, o Ubuntu Mint e o Debian Raspbian foi instalado separadamente e realizado em cada um a instalação individual dos pacotes disponíveis do software Perfsonar. Como resultado, pacote de Testpoint do PerfSONAR instalado no sistema operacional Raspbian se mostrou viável e com maior eficiência para utilização neste conjunto de monitoramento. O segundo estudo de caso foi realizado com um Netbook com 17 anos de uso, um sistema operacional CentOS. A após estudado as instalações dos pacotes de instalação do PefSONAR, o pacote toolkit se apresenta com melhor funcionalidade porém lento ao acessar localmente a página web de resultados. Conclui-se que esta configuração pode ser utilizado em infraestruturas de medições de redes locais, acessando os resultados via Web. O terceiro estudo de caso foi realizado com a instalação dos conjuntos IoTs, escolhidos no primeiro estudo, em dois pontos de presença da rede COMEP-RIO, IPLAN-MIX e PRODERJ-SIX, respectivamente. Em um terceiro ponto foi instalado um servidor em uma máquina virtual no PoP CBPF, para compor a infraestrutura de monitoramento, estudando em ambiente real os monitores IoT. Os resultados obtidos nestes pontos ocorreram durante oito dias e trouxe resultados satisfatórios nos dois segmentos de rede em quase todos os testes. No teste de largura de banda ocorreram algumas intercorrências como o alarme de segurança da rede COMEP após injeção de pacotes na rede e também problemas de velocidade da placa Ethernet do computador Raspberry. Portanto não ocorrendo medições em um segmento e no outro houve leitura incorreta de medidas. Pode-se concluir que excedendo o largura de banda, os demais testes são efetivos obtendo resultados corretos. O quarto caso de uso é um monitoramento entre CBPF e o Chile no ponto Reuña, local mais próximo ao The Cherenkov Telescope Array (CTA) para colher informações sobre a transmissão de dados, com o objetivo de promover estudos científicos nos campos da astronomia e física de partículas. Foram utilizados o servidor PerfSONAR do PoP CBPF do III estudo de caso e um servidor no Chile, local mais próximo do Observatório CTA que se encontrou um PerfSONAR. Neste caminho houve poucas intercorrências de picos de latência, estabilizando em torno de  $39.2 \pm 1$  ms. A velocidade de recebimento de dados oscilou entre  $117,25 \pm \text{Mb/s}$  e 575,44 Mb/s com média de  $226,24\pm109,22 \text{ Mb/s}$ . Foi concluido que esta infraestrutura consegue entregar a informação em tempo real para pesquisadores que utilizam dados do CTA dimensionar o tempo de carga de um determinado arquivo.

Palavras-chave: Monitoramento de rede. Monitoramento com PerfSONAR. Monitoramento com IoT.

## **Abstract**

The internet began from the need of transmitting data between two computers and by consequence the data transmission quality. Communication monitoring comes to ensure the information delivery with efficacy. The main focus of this paper is the software Perf-SONAR, an open source monitoring and diagnosis tool envolving multiples domains and can be implemented on ARM architectures witch is the one used on the Raspberry PI, a low cost microcomputer. The software offers some installation packages: Tool; Testpoint; Core; Toolkit; Centralmanagement. On this paper four cases were studied. First case an analysis of the Rasberry PI compatibility with two operational system and each installed package from the tool bundle. The two operational system, being them Ubuntu Mint and Debian Raspbian, were installed separately and added the PerfSONAR available packages. As a result the PerfSONAR's Testpoint package, installed at Raspbian showed itself viable and higher efficiency to be utilized with this monitoring group. The second case is implementing the tool into a 17 years old Netbook using a CentOS operating system. After the analysis of the installed PerfSONAR packages, the toolkit presents itself with the best function but still with a slow when accessing from local results webpage. In conclusion this configuration can be used in local measuring infrastructures and accessing the data via Web. The third case installs the IoT Bundle chosen for the first case and installing them on two presence nodes from the COMEP-RIO, IPLAN-MIX and PRODERJ-SIX respectively. On a third node a server installed on a virtual machine at the PoP CBPF to compose the monitoring infrastructure, watching the real ambiance of the IoT monitors. The data results from this nodes were from a reading during eight days and they were satisfactory at both segments on almost every test. The bandwith test had the COMEP security alarm triggered after the network package injection, and brought up speed problems at the Raspbarry Pi Ethernet adaptor. Due to this errors one the segments had no data and at the other the reading was not correct or unreliable. In conclusion all the tests were effective and brought right results except the bandwith test. The fourth case is the monitoring between the CBPF node and the Reuña node on Chile, with is the closest node to the The Cherenkov Telescope Array (CTA) to collect information about the data transmission, targeting the promotion of scientific study of astronomy and particle physics field. The PerfSONAR at the CBPF PoP server from the third case was used and an other server at the Chile node, the closest node from the CTA Observatory having a PerfSONAR instance. This segment had a few latency pike problems, that got stable around  $39.2 \pm 1$  ms. The data receiving data wobbled between  $117.25 \pm \text{Mb/s}$  and 575.44Mb/s average of  $226,24\pm109,22$  Mb/s. In conclusion this infrastructure can deliver the information in real time to the researchers data used the CTA data to measure the load time of a given file.

 ${\bf Keywords} \hbox{: Network monitoring. Monitoring with PerfSONAR. Monitoring with IoT.}$ 

## Lista de ilustrações

Figura 1 –	Modelo de Gerenciamento Centralizado	27
Figura 2 –	Modelo de gerenciamento hierárquico	28
Figura 3 -	Modelo de gerenciamento distribuída	28
Figura 4 -	Pacotes do software PerfSONAR [1]	31
Figura 5 -	O computador Raspberry Pi [2]	34
Figura 6 -	$\operatorname{Medições}$ do monitor IoT com S.O. Ubuntu e pacote Tools do PerfSONAR	37
Figura 7 –	Medições com Raspbian e pacote Test Point do PerfSONAR	38
Figura 8 -	Topologia utilizada no experimento	40
Figura 9 –	Resultados entre PoPs Campus Universitário e Laboratório	41
Figura 10 –	Cidades interligadas pela RNP [3]	43
Figura 11 –	Mapa da Rede COMEP-RIO	44
Figura 12 –	Pontos de presença dos monitores de rede	45
Figura 13 –	Tela do PerfSONAR configurado no PoP CBPF com servidor como	
	Toolkit	46
Figura 14 –	Tela de resultado dos testes programados	46
Figura 15 –	Monitor IoT instalado na rede MIX	47
Figura 16 –	Tela de programação das métricas dos testes do segmento CBPF-MIX.	47
Figura 17 –	Tela com todos os testes do trecho CBPF-MIX. Os valores são abordado	
	individualmente nas próximas figuras	48
Figura 18 –	Teste de Latência por método do Ping (Latency rtt) do segmento	
	CBPF-SIX	48
Figura 19 –	Pico de perda de pacote no sentido único	49
Figura 20 –	Teste de perda de pacote por método do Ping (Loss Rtt) no segmento	
		49
Figura 21 –	Teste de Latência de Sentido único (Latency on way) do segmento CBPF-MIX	50
Figura 22 –	Teste de Latência por método do Ping ( <i>Latency rtt</i> ) do segmento	ξO
Eigung 92		50
	Instalação da monitor IoT na rede SIX	51
	Tela des programação das métricas dos testes	<ul><li>51</li><li>52</li></ul>
	Tela dos resultados dos testes entre CBPF-SIX	52 52
	Teste de perda de pacotes de sentido único (Loss one-way) do segmento	IJΔ
rigura 21 –		53
Figura 28 –		
1 15 WIW 40	Tios definitios o volvo do portar do pricovos (1000 0110 may)	$\sigma$

Figura 29 – Teste de perda de pacote por método do Ping (Loss Rtt) do segmento	
CBPF-SIX	55
Figura 30 – Teste de Latência de Sentido único (Latency on way) do segmento	
CBPF-SIX	55
Figura 31 – Local de instalação das antenas de captação de raios gama	56
Figura 32 – Tela de configuração dos testes do PerfSONAR para o trecho CBPF-	
Reuna	57
Figura 33 – Caminho entre CBPF e Santiago do Chilh	58
Figura 34 – Tela com todos os testes do trecho CBPF-Reuna	59
Figura 35 — Gráfico de taxa de transferência (Throug put) no sentido CBPF-Reuna.	59
Figura 36 – Gráfico de taxa de transferência (Througput) no sentido Reuna-CBPF.	60
Figura 37 — Teste de perda de pacote de sentido único ( $Loss\ one\text{-}way$ )	60
Figura 38 – Teste de perda de pacote por método do Ping (Loss Rtt) do trecho	
CBPF-Reuna	61
Figura 39 — Teste de Latência de Sentido único ( $Latency\ on\ way$ ) do trecho CBPF-	
Reuna	61
Figura 40 – Teste de Latência por método do Ping ( $Latency\ rtt)$	62
Figura 41 — Tela do Speccy contendo a configuração do computador	71
Figura 42 – Tela do sofware SD Formatter	72
Figura 43 – Tela do NOOBS versão 2.2	73
Figura 44 – Tela do Win32-image-escritor	73
Figura 45 – Cartão SD card com adaptador	75
Figura 46 – Tela de seleção do NOOBS ou imagem do RASPBIAN $\ \ldots \ \ldots \ \ldots$	77
Figura 47 – Tela de seleção das instalações disponíveis no NOOBS $\ \ldots \ \ldots \ \ldots$	78
Figura 48 — Escolha da instalação completa off-line ou via rede $\ \ldots \ \ldots \ \ldots$	78
Figura 49 – Netbook utilizado neste experimento	79
Figura 50 – Relação de ortas TCP utilizadas pelo PerfSONAR	81

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnica;

ABR Available Bit Rate

ARP Address Resolution Protocol

ARPA Advanced Research Project Agency

ATM Asynchronous Transfer Mode

CBPF Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

CBR Constant Bit Rate

DARPA Defense Advanced Research Projects Agency

HTTP HyperText Transfer Protocol

HTML HyperText Markup Language

ICMP Internet Control Message Protocol

IETF Internet Engineering Task Force

IP Internet Protocol

IPPM Internet Protocol Performance Metrics

MAC Media Acces Control

NMS Network-Management Systems

OSI Open System Interconnection

ISO International Organization for Standardization

RARP Reverse Address Resolution Protocol

RFC Request for Coments

SNMP Simple Network Management Protocol

UDP User Datagram Protocol

VoIP Voice over IP Internet Protocol

VPN Virtual Private Netwark

XML eXtensible Markup Language

## Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	Introdução.	25
2.2	Protocolos utilizados no controle e monitoramento de rede	25
2.3	Paradigmas de Arquiteturas de Gerenciamento de rede	27
2.4	O Software de monitoramento PerfSONAR.	29
2.5	O computador Raspberry Pi	34
3	ESTUDOS DE CASO	35
3.1	Introdução	35
3.2	Estudo de caso I - Sistema PerfSONAR com Raspbery Pi	35
3.3	Estudo de caso II - Sistema PerfSONAR com NetBook Athom	40
3.4	Estudo de caso III	
	Monitorando a Rede Rio com IoT	43
3.5	Estudo de caso IV	
	Monitoramento entre Brasil e Chile utilizando PerfSONAR: Uma	
	contribuição ao Projeto Cherenkov	56
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
4.1	Conclusão	63
4.2	Trabalhos futuros	64
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXOS	69
	ANEXO A – SOFTWARES UTILIZADOS NOS ESTUDOS DE CAS	<b>O 7</b> 1
	ANEXO B – INSTALAÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL DE	
D 1	UMA IMABEM ISO EM UM SD CARD	15
B.1	Instalação utilizando arquivo ISO do Sistema Operacional Raspbian	7.
D 0	produzido pela Debian	75
B.2	Instalação utilizando arquivo ISO do Sistema Operacional Ubuntu	76
	Mate 16.04	76

B.3	Instalação utilizando o software NOOBS		
	ANEXO C – NETBOOK UTILIZADO NO ESTUDO DE CASO III. 79		
	ANEXO D - PORTAS TCP UTILIZADAS PELAS FERRAMEN-		
	TAS DO PERFSPNAR 8		

## 1 Introdução

A utilização da internet em todo planeta cresce na mesma proporção da iminente necessidade de manutenção das redes de comunicação. Diante disso, o monitoramento destas redes é de extrema importância, pois busca evitar problemas nestas e manter os serviços com maior disponibilidade possível, garantindo a integridade, a confidencialidade e autenticidade da informação [4].

Vários trabalhos neste sentido vem sendo desenvolvidos. Dentre eles, destaca-se o trabalho de Battisti [5], que avalia o comportamento das redes através de métricas de desempenho de infraestruturas de medições usadas para essa finalidade. Nesse trabalho, o autor implementou um protótipo em um ambiente real para avaliar e confirmar a importância do gerenciamento dos computadores, detectando e solucionando problemas rapidamente. Além disso, o modelo proposto por ele, mantém a independência administrativa dos pontos de presença, permitindo a interação entre esses. No protótipo desenvolvido, utiliza-se serviços Web de forma que qualquer aplicação multiplataforma possa compor o sistema de gerenciamento. A implantação foi efetuada utilizando o servidor web Apache2, sistema operacional Linux SuSE10.1, linguagem de programação PHP (Hypertext Preprocessor), banco de dados MySQL e protocolos de segurança SSL e TLS. O ambiente de teste utilizou equipamentos localizados na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-UNIJUI, nas cidades de Ijuí, Panambi, Santa Rosa e Três Passos. Após a configuração, os testes foram efetuados durante 60 dias, no quais foram detectados eventos como: falta de resposta de um equipamento, parada de um servidor SSH e falhas nas ferramentas de testes. As soluções adotadas por ele foram respectivamente: o reparo de cabo de rede, reinicialização do servidor SSH (Secure SHell) e atualização dos scripts com erro. O autor conclui que o comportamento do protótipo foi dentro das expectativas propostas.

No trabalho desenvolvido por Ligocki [6], apresenta-se uma ferramenta de monitoramento de rede chamada PaQueT Query Tool, que utiliza as ferramentas baseadas em SNMP (Simple Network Management Protocol e a ferramenta de análise de monitoração de largura de banda e tráfego de rede (Netflow). Contudo, o autor avaliou um conjunto de infraestrutura de medição de desempenho, verificando que cada infraestrutura requer formas diferentes de operação. Ele destaca que não há uma padronização entre as ferramentas estudadas e propõe um novo modelo de infraestrutura de monitoramento, que permite a interação entre os modelos estudados, através de funções de gerenciamento comuns entre as ferramentas de monitoramento de rede. A ferramenta escolhida para estudos tem como característica utilizar a plataforma Web Service, apresentando consultas através de uma ferramenta gráfica chamada Borealis Graphical User Interface ou arquivo XML. Com o objetivo de capturar pacotes e detectar sua quebra, de acordo com os respectivos cabeçalhos, foi desenvolvido um script batizado de  $IP\ Tool$ , utilizando a liguagem C++, que envia seus resultados ao  $PaQueT\ Query\ Tool$ . O estudo experimental foi realizado, em um primeiro momento, através de uma simulação com uma ferramenta de geração de pacotes randômicos para avaliar a funcionalidade e a flexibilidade da ferramenta. Em seguida, foram utilizados dois computadores, o primeiro gerando tráfego para o segundo, em uma rede local, para comparar os resultados obtidos pelo  $PaQueT\ Query\ Tool$  com outras duas ferramentas consagradas, o Wireshark, que consegue verificar o conteúdo dos pacotes de diversos protocolos, criando estatísticas sobre dados obtidos e o Ntop, ferramenta com funções semelhantes. As medições em cada ferramenta foram realizada durante uma hora, gerando cerca de 210 mil pacotes. Os resultados da ferramenta  $PaQueT\ Query\ Tool$  foram equivalentes aos resultados das outras duas.

Os autores Dias e Alves Júnior [7] em seu trabalho mostram os recursos do protocolo de monitoramento SNMP e o conjunto de objetos gerenciados para controle de rede MIB Management Information Base, com a finalidade de descrever tais protocolos e avaliar a métrica de desempenho destes com o software MRTG. Esses recursos são amplamente utilizados no software de monitoramento PerfSONAR ao longo de testes. Os autores apresentam definições sobre o MIB, sua organização, estrutura e apresenta exemplos de utilização. Também apresenta as definições do protocolo SNMP ressaltando o papel do Gerente e Agente de monitoramento, e também as operações e mensagens desse protocolo. Finalmente, ocorreram a instalação do programa e monitoramento de rede MRTG, Multi Router Traffic Grapher, para estudar as características do protocolo SNMP, Simple Network Management Protocol, em ambiente de rede local e Backbones Metropolitanos. Os autores descrevem a instalação e configuração do programa e em seguida apresentam exemplos de gráficos produzidos com a periodicidade de 5 minutos, diário, mensal e anual com o objetivo de verificar o tráfico de rede.

Diniz e Alves Júnior [8] demonstram a utilização da ferramenta de medição e geração de trafego de dados conhecida como *IPERF* e sua utilização como auxílio da análise de desempenho de redes. Os autores demonstram a instalação da ferramenta nos ambientes Windows e UNIX/Linux, a configuração padrão e forma de configurar as métricas. Para tanto, foi utilizado um *laptop* DELL Studio 1450 com sistema operacional Lubuntu 15.10 e *iperf3* versão 3.0.11, conectado a Raspbery Pi 2 Modelo B com sistema operacional Linux Raspbian Jessie e *iperf3* versão 3.0.7. Além disso, na fase de testes, para emular o atraso, foi utilizado a aplicação NetEm que opera nos pacotes de saída. O Raspberry executou a função de cliente e também de servidor para verificar os teste de vazão média nos protocolos TCP e UDP. Assim, no primeiro cenário, foram realizados, em uma rede ponto a ponto com um atraso de cerca de 0,5 ms, testes de vazão padrão, com os protocolos UDP e TCP, utilizando a ferramenta *iperf3*, medindo uma vasão de cerca de 16 Mbps, com taxa de utilização da CPU em 0,5 processos/min, com carga e memória utilizada de 20 MB entre

TCP e UDP, tanto na transmissão e recepção. No segundo cenário foi realizado, em uma rede ponto a ponto, um atraso de cerca de 0,5 ms, com testes de vazão máxima disponível para detectar atrasos ocorridos. Neste cenário houve um aumento de cerca de 4% na taxa de utilização de CPU, entre o experimento de recepção e de transmissão utilizando o iperf3, tanto para UDP quanto para TCP. Finalmente, no terceiro cenário, em uma rede de longa distância, com um atraso em cerca de 100 ms. Neste último, os resultados foram iguais aos testes de base, mesmo com um cenário de grande atraso. Os autores puderam concluir com o desenvolvimento deste trabalho que o IPERF tem simplicidade de uso, eficácia no que se propõe, facilidade na detecção de medição de atraso de ida e volta dos pacotes e a habilidade de detectar gargalos ponto a ponto na análise de desempenho de rede.

Já Alves e da Silva [9] utilizam o PerfSONAR, realizando medições de vazão e latência através das ferramentes BWCTL, NDT e OWAMP, incorporadas no próprio software. Os testes realizados por eles foram realizados entre a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e o Centro de Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), trafegando dentro do backbone da rede acadêmica nacional de fibra óptica, IPÊ, com capacidade de 10 Gbps. Foram então realizados experimentos de largura de banda (throughput) nos dois sentidos de trafego, obtendo um resultado de vazão média de cerca de 333,61 Mbps e no sentido contrário de 369,16 Mbps. O segundo teste foi executado entre a UFRN e a Universidade de Leith, localizada em Bethehem, nos Estados Unidos, trafegando pela rede IP e a rede Clara até chegar a Internet2, todas com 10 Gbps. O resultado do teste (throughput) obteve vazão média igual a 99,07 Mbps e no sentido contrário 11,03 Mbps. Os autores concluíram ser interessante a utilização do PerfSONAR como ferramenta de medição de oscilações em redes de computadores por disponeribilizar ao administrador resultados instantâneos entre conexões. Também permite identificar links subdimensionados, taxas de vazão baixas ou atrasos altos estimando assim a qualidade da conexão.

Diferentemente dos autores supracitados, este trabalho se propôs a realizar quatro estudos de caso com o software PerfSONAR. O primeiro estudo aborda as possíveis configurações de instalação do referido software com o computador Raspberry PI. O segundo estudo de caso foi realizado com um Netbook. Já o terceiro estudo foi instalado dois conjuntos Raspberry Pi e PerfSONAR em dois pontos de presença na rede metropolitana do Rio de Janeiro. O quarto estudo de caso é um monitoramento entre dois pontos do Brasil e Chile.

Os dois primeiros estudos de caso se propuseram a verificar a viabilidade de cada instalação entre hardware de baixo custo e o software de monitoramento. O terceiro estudo se propôs a estudar a reação do conjunto Raspberry PI e PerfSONAR em um ambiente real. O quarto e último estudo objetivou realizar um monitoramento com o PerfSONAR entre Brasil e Chile em colaboração ao projeto Cherenkov - um observatório localizado

no deserto do Atacama.

Para atingir o objetivo deste trabalho, este está estruturado em quatro capítulos.

No primeiro capítulo tem-se a motivação, os trabalhos correlatos, os objetivos e a estrutura deste trabalho.

O Capítulo 2 descreve a fundamentação teórica deste trabalho como a arquitetura da Internet, a arquitetura de rede no momento atual, os protocolos utilizados no monitoramento de rede, arquitetura web service que é utilizada no monitoramento, medições e métricas em comum ao PerfSONAR com o protocolo SMNP.

O Capítulo 3 apresenta quatro estudos de caso com o uso do software PerfSONAR, objeto principal deste estudo. Nesta seção, apresenta-se o cenário de rede e os testes realizados em cada caso.

Finalmente, o Capítulo 4 apresenta as conclusões e as contribuições deste trabalho e os estudos futuros que poderão ser desenvolvidos a partir dessa dissertação.

## 2 Fundamentação teórica

## 2.1 Introdução.

Neste capítulo, na seção 2.2, abordam-se os protocolos fundamentais utilizados pelo PerfSONAR e todos os softwares de monitoramento de rede. A partir do item 2.3 é referenciado o paradigma de arquitetura de gerenciamento de rede que também é utilizado pelo PerfSONAR nos estudos de caso III e IV. Em seguida, na seção 2.4, é abordado uma revisão do programa PerfSONAR com a explicação do conteúdo dos pacotes e suas funções particulares e os testes por ele executado, tão bem como as instalações e métricas. A seção 2.5 traz os programas necessários para efetuar as formatações e instalações dos sistemas operacionais requeridas no estudo de caso I e também uma revisão sobre o computador Raspberry Pi.

### 2.2 Protocolos utilizados no controle e monitoramento de rede.

O monitoramento de rede utiliza os protocolos TCP, IP, ARP, RIP em seus processos de comunicação. O protocolo TCP que é responsável pelo controle de erro dos pacotes enviados. [10].

O UDP (*User Datagram Protocol*) ou Protocolo de Datagrama de Utilizador é um protocolo de transporte leve e simplificado, com serviço não orientado a conexão, portanto não acontecem os processos de apresentação no início da comunicação. O UDP é utilizado nos testes que permitem transmitir dados à taxa praticada no caminho [4]. O PerfSONAR usa o protocolo UDP utilizando-se das características de alta eficiência de transmissão de dados para realizar vários testes como latência e largura de banda.

O IP (Internet Protocol) ou Protocolo de Internet é basicamente o endereço da entidade de rede através do qual os roteadores re-encaminham datagramas por meio de caminhos escolhidos para evitar congestionamento em vias e garantindo a entrega da informação ao seu destino [10]. Juntamente com o protocolo ICMP (Internet Control Message Protocol), o perfSONAR verifica o estado de vida dos roteadores e da máquina de destino [10]. Este protocolo, por sua vez, utiliza o comando ping para verificar se a porta da entidade de rede responde. As mensagens ICMP contém um campo (tipo) que indica se ocorreu um erro de comunicação. A partir de então, não ocorrendo retorno do endereço IP, configura-se uma interrupção no caminho [11]. Esta comunicação é realizada diretamente no sistema operacional, não se configurando como um processo. Outra comunicação importante do ICMP é o controle de congestionamento que permite a um roteador enviar

uma mensagem de redução de velocidade de transmissão, apesar do TCP ter seu próprio mecanismo de congestionamento [12].

O comando Traceroute utilizado pelo software PerfSONAR, permite acompanhar a rota de uma entidade a outra, funcionando com mensagens ICMP com TTL (*Time To Live*) igual a 1.

Já o protocolo ARP (Address Resolution Protocol) é fundamental em todos os processos de conexão de rede, pois identifica e relaciona os endereços lógicos IP ao endereço do hardware de rede chamado de MAC (Media Acces Control) composto de 48 bits, gravada no hardware. É responsável por fazer as ligações (Sockets) entre as entidades de rede, utilizados em todos os programas de monitoramento do PerfSONAR [10]. O protocolo RARP (Reverse Address Resolution Protocol) permite que um host descubra o endereço de internet, podendo ser considerado o reverso do pacote ARP [6].

O protocolo RIP, (Routing Information Protocol) ou Protocolo de Roteadores Internos, impede que os enlaces do roteamento transmitam pacotes de dados infinitamente, evitando loops na rede. É um protocolo de vetor de distâncias que funciona a partir da contagem de saltos como métrica de custo, responsável pelo correto funcionamento do (Tracerout) - função incorporada no PerfSONAR para mapeamento dos caminhos de rede [12].

O SNMP (Simple Network Management Protocol) ou Protocolo Simples de Gerenciamento de Rede desempenha um papel fundamental no gerenciamento de monitoramento da internet [11]. As funções contidas neste protocolo são utilizadas largamente no PerfSONAR para monitorar dispositivos e garantir a atenção administrativa, sendo um componente do conjunto de protocolos da internet. É em um protocolo da camada de aplicação que compõe um conjunto de padrões de gerenciamento de rede, incluindo um esquema de banco de dados, e um conjunto de objetos de dados [4]. O dispositivo de rede a ser monitorado é o que efetua o envio de alarmes. Por conta disso, os sistemas de gerenciamento de redes utilizam o termo gerente para a aplicação que roda na estação de gerenciamento e agente para a aplicação que roda no dispositivo de rede [10]. O SNMP define apenas duas operações básicas. O GET, para obter um valor de um dispositivo e o SET, para colocar um valor num dispositivo. O comando que especifica uma operação de GET ou SET deve especificar único o nome do objeto. As operações que controlam o dispositivo são definidas como efeitos secundários de SET para alterar/gravar valores em objetos [13]. As métricas do protocolo SMNP determinam a forma para obtenção de informações de servidores espalhados em uma rede, baseadas em pilha de protocolos TCP/IP. Utiliza especificamente o protocolo UDP para obter dados por requisições de um gerente, enviando informações de monitoramento a um ou mais agentes [7].

## 2.3 Paradigmas de Arquiteturas de Gerenciamento de rede

O PerfSONAR utiliza um modelo de gerenciamento de rede baseado no protocolo SNMP que utiliza uma hierarquia gerente-agente, na qual o gerente monitora e efetua operações de controle nos diversos agentes da rede. Os agentes são simples fornecedores de dados, enquanto o gerente recebe dados de vários agentes quando necessário, efetuando operações de controle. Esta hierarquia exige poucos recursos dos equipamentos onde os agentes são instalados, porém as funções de monitoração sobrecarrega o gerente, gerando grande tráfego de rede e influenciando resultados devido à sobrecarga de dados na rede [14].

A escolha do gerenciamento utilizado no monitoramento de rede com PerfSONAR pode ser construída de acordo com a teoria de Leinwand [15] relatando que as arquiteturas de gerenciamento podem ser divididas em: Centralizada, Hierárquica e Distribuída.

Na arquitetura centralizada, apenas um gerente é o responsável pelos procedimentos de gerenciamento em todos os equipamentos. Esse modelo usa um banco de dados de gerenciamento centralizado. Para tolerância a falhas, o banco de dados deve ser replicado para outro sistema [14] como mostra a figura 1. A instalação do PerfSONAR que caracteriza este modelo de estrutura consiste no pacote *Toolkit* instalado como gerente e o pacote *Textpoint* como agente ou agentes.

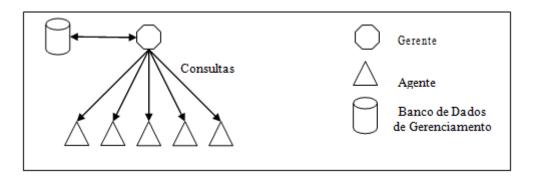


Figura 1 – Modelo de Gerenciamento Centralizado

A centralização das informações em um único local para visualização das informações da rede como alertas e eventos traz grande vantagem e simplifica a segurança em um único gerente. Porém, esta dependência de um único ponto traz a desvantagem em caso de falha, pois o sistema fica inoperante, além do grande tráfego gerado, com o gerenciamento no enlace de acesso central. Isto impede que este modelo possa ser escalável [14].

Na arquitetura hierárquica, como observado na figura 2, múltiplos gerentes atuam em seus agentes na tarefa de monitoramento. Um gerente atua como centralizador de banco de dados recebendo e armazenando as medições de toda a rede. A distribuição de tarefas de monitoramento e gerenciamento é a grande característica deste modelo [14].

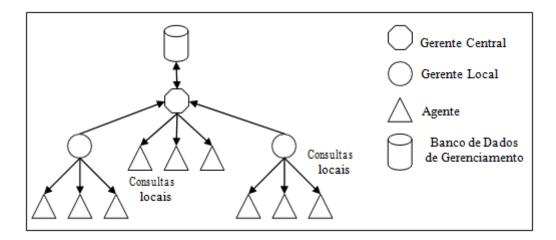


Figura 2 – Modelo de gerenciamento hierárquico

A arquitetura distribuida combina as duas anteriores contendo um banco de dados para cada gerente local mostrado na figura 3. A desvantagem é o consumo extra de recurso de rede para que as bases de dados se mantenham sincronizadas [14]. O pacote Central Management utiliza este tipo de arquitetura

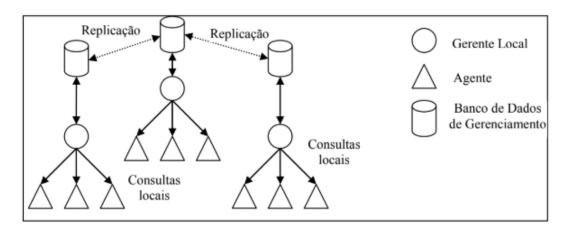


Figura 3 – Modelo de gerenciamento distribuída

### 2.4 O Software de monitoramento PerfSONAR.

É uma ferramenta de infraestrutura de monitoração de diagnóstico de rede. Foi elaborado por colaboração entre operadores de rede que projetam e constroem ferramentas para utilizar em suas redes, promovendo condições de monitoramento e diagnóstico [13]. O software PerfSONAR consiste em um software mediador (Middleware) que se encontra entre o sistema operacional e os aplicativos que ele contém, intermediando, gerenciando e monitorando dados e comunicação.

Os protocolos foram definidos no OGF (Open Grid Forum) através do grupo de trabalho em medições de rede NM-WG (Network Measurements working group).

Em setembro de 2004, o projeto Géant2 e o grupo de desempenho Fim-a-Fim E2Epi (End-to-End Performance Initiative) da Internet2 discutiram sobre como monitorar e diagnosticar com eficiência um segmento de rede. Membros do NM-WG guiaram a codificação dos dados desta medição de rede. Foi definido que todos os códigos do software PerfSONAR são abertos e os produtos compatíveis devem ter padrões públicos do OGFNM-WG Grupo de trabalho de medições de rede, um parceiro inicial como a Esnet (Energy Science Network) que efetuou a implantação da infraestrutura. A primeira versão caracterizada como PerfSONAR foi disponibilizada em julho de 2006 [1].

O PerfSONAR funciona como um software mediador e se encontra entre o sistema operacional e os aplicativos nele contidos, intermediando, gerenciando e monitorando dados e comunicação. Integra ferramentas de monitoração de rede e produz arquivos de resultados. Cada componente do sistema é modular e está baseado em arquitetura de serviços web (Web Service) com instalações de ferramentas individuais e descentralizadas, controladas no local [1].

Nos serviços de dados, é possível instalar pontos de presença com software PerfSO-NAR para realizar medições localizadas, armazenadas em arquivos de medições e realizar apresentação de dados. Nos serviços de infraestrutura, temos os serviços de informação de descoberta de rede, topologia e configuração da infraestrutura. A análise e visualização de informações são realizadas por interfaces gráficas do usuário, por páginas web e alarmes pré-determinados [1]. Todas as ferramentas que o software integra utilizam portas TCP conforme consta no Anexo D.

De acordo com PerfSONAR [1], os requisitos de instalação para dispositivos ARM (Advanced Reduced instruction set computer Machine) funcionam melhor com o Ubuntu (Sistema operacional Linux derivado do Debian). As plataformas com maior poder de processamento como Cubox e Liva conseguem funcionar com os sistemas operacionais CentOS, Debian ou Ubuntu.

O sistema PerfSONAR funciona tanto nos sistemas operacionais CentOS 6 e 7, Ubuntu 14 e Debian versões Wheezy e Jessie. O software foi escrito para quatro arquiteturas de Hardware diferentes. Computadores com arquitetura i386 utiliza software de 32 bits; máquinas com arquitetura amd64 utiliza o pacote de 64 bits; para a arquitetura ARM, utilizam-se os pacotes escritos para os processadores ARMv4t e ARMv7. A documentação do software PerfSONAR recomenda não utilizar o pacote de instalação completo nas arquiteturas ARMv4t e ARMv7, indicando apenas o pacote test-point devido ao consumo de memória e processamento desta arquitetura [1].

As instalações em dispositivos de baixo custo são referenciadas dentro da comunidade de desenvolvedores e traz uma literatura importante para os usuários do PerfSONAR sobre comportamento do software nesta classe de hardware. Um segmento de programadores e usuários permanece escrevendo códigos para os computadores Raspberry Pi, Cubox e liva, reparando problemas com estas plataformas. Dentre estes problemas descritos na documentação, existe um problema ainda não solucionado em relação à sincronização da comunicação, que ocorrem em alguns hardwares devido a baixa capacidade de memória e processamento, o que pode afetar as medições de latência [16]. A informação mais problemática encontrada é que o desempenho da CPU dos processadores ARM limita o tráfego dos protocolos TCP acima de 300 Mbps. Portanto, é recomendado pela comunidade a utilização somente dos pacotes de instalação PerfSONAR - tools ou PerfSONAR - testpoint bunldles nestes dispositivos [1].

Os pacotes de instalações que o software PerfSONAR oferece para as diversas configurações de gerenciamento de rede serão apresentadas aqui. Cada pacote tem suas funções no monitoramento de uma rede [17]. Os pacotes disponíveis são o Tools, TestPoint, Core, Toolkit e Centralmanagement conforme figura 4.

- 1. **O pacote** *Tools* inclui apenas os clientes que utilizam linhas de comando necessárias para executar medições sob demanda como *iperf*, *iperf3*, *bwctl e owamp*. Esse pacote geralmente é melhor para hosts que não são nós de medição dedicados, porém que estejam disponíveis para solução de problemas conforme necessário [1][17].
- 2. O pacote *Testpoint* é mais completo, incluindo o pacote *tools*, utilizando softwares do sistema operacional que executam testes automaticamente em um horário regular para participar de uma malha de testes como gerente e publicar a existência de um nó de medição. Esta instalação envia medições para outro sistema PerfSONAR que contenha o pacote *ToolKit*, podendo então realizar a publicação dos resultados. Indicado para execução dedicada em plataformas de hardware leves [1][17].
- 3. O pacote *Core* inclui todas os testes da instalação do pacote *testpoint* contendo a função de medição *esmond* usado para armazenar os resultados. Este pacote é indicado para *hosts* de medição dedicados, cujo administrador deseja armazenar os resultados localmente conservando a flexibilidade da escolha das configurações padrão de segurança e ajuste, porém não deseja utilizar uma instalação do *Toolkit*, pois este necessita de uma pesada interface da Web [1][17].

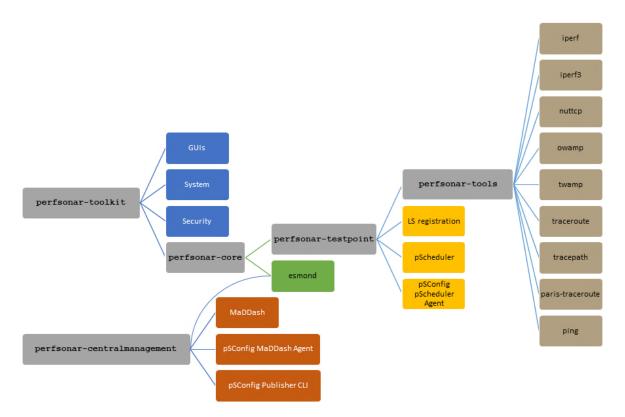


Figura 4 – Pacotes do software PerfSONAR [1].

- 4. **O pacote** *Toolkit* inclui todas as funções do pacote *core* acrescentando um banco de dados MySQL, o programa de interface web Apache2 usada para gerenciar testes, o interpretador de scripts PHP5 usado para aplicar configurações padrão e de scripts de segurança em todo o sistema. O *Toolkit* é indicado para monitoramento completo em um sistema Linux [1][17].
- 5. O pacote Centralmanagement é independente dos pacotes supracitados e instala ferramentas que podem gerenciar e centralizar um grande número de hosts exibindo seus resultados. Isso inclui o arquivo de medição esmond ferramentas para construção de malhas e software de painel para exibição de resultados [1][17].

Os testes que os pacotes do software PerfSONAR executa para realizar as coletas de dados do monitoramento são referenciados a seguir.

#### 1. Taxas de Transferências - Througput

Mede a Quantidade de dados transferidos ao longo de um determinado período de tempo. Sua implementação é realizada através da ferramenta pScheduler ou teste de controle de banda larga, BWCTL (Bandwidth Test Controller), o que garante que a medida da taxa de transferência de um teste não conflite com a outra [17].

A partir da versão 4.0 do software PerfSONAR, existe uma nova infraestrutura de agendamento denominada pSsheduler que substitui integralmente o BWCLT. Apesar desta mudança, todos os hosts contendo o software PerfSONAR da versão 4 também

executam o servidor BWCLT com objetivo de interagir com clientes antigos. O pSheduler pode detectar a existência de outra máquina contendo este serviço em outro nó e, caso o serviço não exista, o agente utiliza o servidor BWCTL. Por padrão, os dois servidores executam o software de teste de largura de banda iperf3 para medir a taxa de transferência, recorrendo a versão anterior iperf2 ou outra ferramenta anterior de teste de rede, o nuttcp, em caso de falha [17].

### 2. Ping (Packet Internet Network Grope):

Esta ferramenta mede o tempo que o pacote leva no sentido emissor-destino, e a consequente resposta do sentido contrário, medindo as perdas de pacote de dados. Os Servidores pScheduler e BWCLT são usadas para agendar os comandos ping para colher o tempo de resposta em tempo real. Os resultados são semelhantes ao teste de latência de sentido único, porém sem levar em conta em qual o sentido o pacote trafega. A vantagem é a aceitação desse teste por muitos sites sem modificar nenhum firewall [17].

#### 3. Latência de Sentido Único:

Ao contrário do Ping que utiliza a combinação dos valores das duas direções, este teste mede atraso e perda separadamente para cada sentido que o pacote é enviado [18]. A ferramenta utilizada para executar este teste é underling que envia vários pacotes a cada segundo para um cliente com o protocolo OWAMP (*One-Way Active Measurement Protocol*), que verifica o tempo de propagação de pacotes entre instâncias de rede e permitem detectar perdas de velocidade.

Quando se executa o teste de taxa de transferência - throughput - ao mesmo tempo com o teste de latência, ocorrem anomalias nas medidas pelo consumo de banda ocasionando falsas medidas. Pode-se realizar a programação das métricas de forma que não sejam executados ao mesmo tempo porém a solução definitiva para este problema é a utilização de interfaces de rede separada para este teste [1].

#### 4. Traceroute:

Traceroute é uma ferramenta que verifica e permite observar a trajetória de um pacote de dados a partir de seu host até o host de destino, detectando as rotas utilizadas. Sua utilidade principal é identificar eventos como alterações de caminho que afetam outros tipos de testes e tempo de resposta [19].

Seu funcionamento é baseado no campo TTL (Time to Live), componente do cabeçalho do pacote IPV4, que regula o tempo de vida do pacote descartando quando este valor for zero. Utiliza também o protocolo ICMP (Internet Control Message Protocol - Protocolo de Mensagens de Controle de Internet) que envia para origem o endereço IP caso o TTL esteja em zero [19].

As medições são periódicas por padrão, adicionadas automaticamente sempre que

o usuário do software PerfSONAR adicionar qualquer tipo de teste. O gerenciamento de agendamento do teste é a ferramenta pScheduler. O comando executado é tracerout que está instalado em todos os hosts do pacote de instalação toolkit por padrão, porém o pScheduler retorna para o tracerout a responsabilidade de executar o teste caso não esteja instalado no host de origem. Outra ferramenta secundária, paris-traceroute, está na interface do usuário do software PerfSONAR, e pode ser utilizada manualmente para efetuar as medidas [1].

#### Métricas do software PerfSONAR.

As métricas são campos utilizados para determinar uma maneira quantitativa e qualitativa de verificar um comportamento que o usuário deseja medir. Estes parâmetros dependem do modelo de negócio proposto para determinar o que medir. Algumas métricas aplicadas ao software PerfSONAR que podem ser determinadas pelo usuário são [1]: Medir a capacidade de tráfego em um nó, segmento ou caminho de rede; Determinar qual a utilização de rede em uso em um determinado instante; Verificar qual a taxa de transferência ou Largura de banda que é utilizado em um determinado instante; Medir o tempo de atraso ou latência na ida e volta de um pacote entre dois pontos de rede em um determinado instante; Medir a perda de pacotes descartados entre dois pontos de rede em um determinado instante; Verificar a duplicação de pacotes entre dois pontos de rede em um determinado instante; Verificar a duplicação de pacotes entre dois pontos de rede em um determinado instante; Medir a variação nos tempos de chegada dos pacotes entre dois pontos de rede em um determinado instante; Medir a variação nos tempos de chegada dos pacotes entre dois pontos de rede em um determinado instante (Jitter).

Justifica-se o uso do PerfSONAR para diagnosticar um problema de desempenho fim-a-fim quando a operação não ocorre como planejado, para monitorar redes locais de grande tráfego, redes dorsais e regionais, pontos de troca, e toda e qualquer infraestrutura de grande tráfego que necessite de monitoramento e detecção de problemas de tráfego. Usuários de Rede podem utilizar para detectar problemas como velocidade baixa e qualidade [1].

O software PerfSONAR é utilizado por líderes comunitários de instalações científica, campi, laboratórios, provedores de rede ou pontos de troca. Ele fornece informações sobre o desempenho da rede entre as instalações nas quais outras soluções tradicionais de monitoramento não são capazes de fazê-lo [1]. Os operadores de rede o utilizam para garantir que redes ou segmentos estejam funcionando de maneira ideal. Tem larga utilização em organizações virtuais como agrupamentos de cientistas performers. Os formuladores de políticas verificam a infraestrutura de rede para facilitar a transferência de conhecimento, na transmissão de áudio e vídeo, ou qualquer mobilidade de dados em tempo real. Grupos de desenvolvedores de software e serviços utilizam as APIs (Application Programming Interface) ou Interface de Programação de Aplicativos do software PerfSONAR que conseguem mapear dados reunidos em milhares de redes e projetar serviços mais inteligentes

de monitoramento e também facilitar a implantação, o compartilhamento e a localização de novos produtos [1].

## 2.5 O computador Raspberry Pi

O computador Raspberry PI foi concebido inicialmente para ser utilizado por estudantes de graduação da Universidade de Cambridge. As medidas de largura e profundidade se aproximam ao de um cartão de crédito [20]. O processador de arquitetura RISC (Re-



Figura 5 – O computador Raspberry Pi [2]

duced Instruction Set Computer), foi projetado pela ARM Holdings, empresa britânica situada em Cambridge. O modelo utilizado neste estudo contém as seguintes características: uma CPU ARMv8 de 4 núcleos com barramento de 64 bits e frequência de 1,2 GHz, uma unidade de interface de rede LAN sem fio 802,11n, Bluetooth 4.1 com sistema de baixa energia BLE (Bluetooth Low Energy), quatro portas USB 3,0, uma porta de rede Ethernet de 100 Mb/s, uma saída de vídeo padrão HDMI que entrega sinal através de uma unidade de processamento Gráfico 3D VideoCore IV, um slot para cartão de memória Micro SD, uma interface de micro monitor DSI, uma interface para Câmera CSI, uma tomada de áudio de 3,5 mm com vídeo composto e também 40 pinos GPIO (General Purpose Input / Output) para utilização de sensores eletrônicos, analógicos e digitais [20], mostrado na figura 5. Alguns projetos fazem uso de periféricos como sensores, câmeras, unidades de armazenamento, atuadores e LEDs, utilizando interfaces GPIOs, que são portas de entrada ou saída digital. Possibilita o controle e programação para vários fins, como: uma comunicação entre periféricos, controle de estado de entrada, interruptor, LED, entre outros [20].

## 3 Estudos de caso

## 3.1 Introdução

O presente capítulo contém quatro estudos de caso utilizando software de sistema de monitoramento PerfSONAR 4.0 em diferentes contextos.

No primeiro estudo de caso, verificou-se a compatibilidade das instalações Computador/sistema Operacional/Pacote do PerfSONAR que efetivamente sejam compatíveis e eficientes. No primeiro teste, foi realizado a instalação de cada um dos 5 pacotes disponíveis do PerfSONAR no sistema operacional Linux/Ubuntu Mint e verificadas as condições de funcionamento. No segundo teste, foram repetidas as 5 instalações dos pacotes do PerfSONAR em outro sistema operacional Linux/Debian Raspbian, e também verificada as condições de funcionamento.

O segundo estudo tem como objetivo verificar qual instalação de pacote do PefSO-NAR opera com eficiência em um Netbook Athon com 2Gb de memória ram.

O terceiro estudo de caso trata-se de um teste de monitoramento da rede COMEP-RIO com dois computadores Raspberry PI, configurado com o melhor conjunto resultante do primeiro estudo de caso. Ambos foram instalados com pacotes (Test-Point) em um ponto de presença da rede denominado SIX e em outro ponto de presença MIX. Também foi configurado um servidor com sistema operacional Debian no POP CBPF para concentrar dados das medições e analisar a qualidade da transmissão.

No quarto estudo de caso, foi analisado o tráfego de rede entre o CBPF, localizado no Rio de Janeiro e o local mais próximo do projeto (CTA) *Cherenkov Telescope Array* localizado em em Santiago no Chile, através do software PerfSONAR. O intuito é verificar a qualidade de transmissão de dados neste caminho, possibilitando transferir grande quantidade de informações sobre física de partículas e cosmologia, viabilizando estudos no CBPF.

## 3.2 Estudo de caso I - Sistema PerfSONAR com Raspbery Pi

Com o objetivo de verificar se cada instalação dos cinco pacotes do perfSONAR consegue ser executado efetivamente neste hardware, foi executado dois testes com as mesmas condições e ambiente de rede.

Para o primeiro teste, foi realizado a instalação do sistema operacional Ubuntu versão Mint no computador Raspbery Pi, e as instalações dos 5 pacotes disponíveis do

software de monitoramento PerfSONAR com o objetivo de identificar qual conjunto desta instalação oferece plenas condições de funcionamento entre Hardware e software.

No segundo teste foi instalado o sistema operacional Linux Raspbian e realizado as instalações dos pacotes do PerfSonar. Os procedimentos de formatação são semelhantes aos realizados no teste com sistema operacional Ubuntu. A instalação do sistema operacional Raspbian pode ser realizada através do processo de imagem, conforme foi instalado o sistema Ubuntu, porém a utilização do programa NOOBS traz maior facilidade no processo de instalação. Os procedimentos de instalação através do software NOOBS estão referenciados no Anexo B.

### Metodologia utilizada nos testes.

Em cada testes de funcionamento realizado com os pacotes testpoint, tools, core e centralmanagement, foi executado o procedimento de instalação do sistema operacional que se inicia com a formatação de um cartão de memória micro SD limpo, com tamanho mínimo de 4GB como apresentado na figura 45 que consta no anexo A.

Estas instalações foram realizadas em um ambiente de testes com as seguintes configurações: uma rede ponto a ponto no qual, de um lado está conectado um Notebook I5 rodando uma máquina virtual através o software de virtualização *Vmware Workstation*, 4 Mb de memória RAM e uma placa Ethernet configurada em modo bridge (acesso direto à placa), um sistema operacional CentOS 7, com pacote *Tool Kit* do programa PerfSONAR operando como servidor do sistema de monitoramento, atribuindo-se o endereço IP 192.168.1.200. No outro lado, um computador Raspberry Pi desempenhando papel de monitor IoT que foi configurado com o endereço IP 192.168.1.205 para todos os testes de instalação dos pacotes do software PerfSONAR.

Em seguida, foram iniciados os testes de instalação e compatibilidade dos pacotes do programa de monitoramento PerfSONAR. Ressaltando que para cada pacote instalado, houve nova formatação e instalação do sistema operacional.

#### Resultados utilizando o sistema operacional Ubuntu

Os resultados obtidos para estes testes utilizando o sistema operacional Ubuntu foram os seguintes:

A instalação do pacote *Tools* com o sistema Ubuntu ocorreu corretamente e sem nenhuma intercorrência conforme mostram os resultados obtidos da figura 6.

Com o pacote *Tools*, o computador permaneceu em funcionamento sem ocorrência de travamento, interrupção ou qualquer indício de sobrecarga de memória ou processador durante cerca de 20 horas, ficando em estado de espera de chamadas sob demanda de outros nós como: iperf, iperf3, bwctl e owamp, apresentando um resultado agrupado de todas as medições. Pode-se observar na linha azul contínua da figura 6 o teste de largura

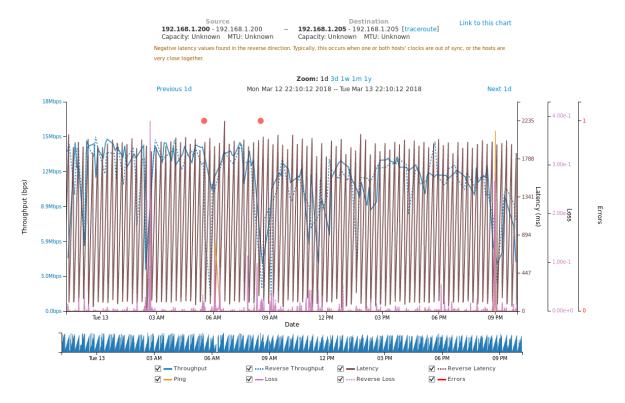


Figura 6 – Medições do monitor IoT com S.O. Ubuntu e pacote Tools do PerfSONAR

de banda (*Throughput*), no qual, o azul pontilhado representa medidas no sentido reverso. Já a linha rosa contínua representa as perdas de pacote (Loss), a linha pontilhada de mesma cor representa o sentido oposto, e os pontos vermelhos representam as ocorrências de interrupções momentâneas. O teste de Latência não foi visualizado. A barra inferior com gráficos azuis, representa o momento em que os pacotes são injetados na rede para executar o teste de largura de banda.

A instalação do pacote *Test Point* ocorreu normalmente sem nenhum travamento no monitor IoT ou qualquer incompatibilidade. No entanto, durante os testes de monitoramento, ocorreu travamento do computador. Infere-se que o motivo da sobrecarga consiste no carregamento da memória do computador com os programas de banco de dados MySQL, pSsheduler, BWCLT, iperf3 junto com servidor gráfico do Ubuntu Mint, o que ocupou toda a memória e provocou o travamento do computador.

A instalação do pacote Core ocorreu normalmente no sistema operacional Ubuntu, porém, após o reinício do computador, seu funcionamento se mostrou extremamente lento. Ao requisitar a página de configuração do monitor IoT, houve o travamento do sistema e não ocorreram medições. O motivo do travamento é o mesmo do pacote Test Point com o acréscimo dos programas de acesso a internet ISP (Internet Service Provider), Apache2 e PHP.

O pacote Central Management foi instalado, porém sua configuração não foi possível, pois o equipamento travou assim que se iniciou o procedimento de instalação. Como o

anterior, não houve medições. O travamento se repetiu em todas as tentativas posteriores de inicialização da máquina.

Com o pacote *Toolkit*, ocorreram reações semelhantes aos do pacote anterior e não houve medições.

#### Resultados utilizando o sistema operacional Raspbian

Os resultados obtidos para os testes utilizando o sistema operacional Debian Raspbian foram os seguintes:

A instalação do pacote *Tools* com sistema operacional Debian Raspbian ocorreu corretamente, sem intercorrências. As medidas foram coletadas com sucesso e foi realizada a coleta de dados conforme informações mostradas no gráfico da figura 7. O monitor IoT se manteve em funcionamento constante durante todo o tempo de medição. Foi repetida a instalação do sistema operacional Raspbian sem o pacote gráfico e foi observado diferenças de desempenho.

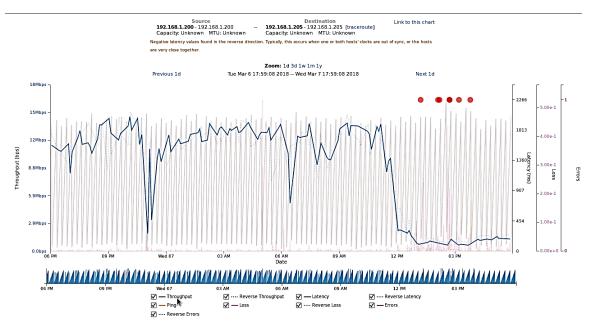


Figura 7 – Medições com Raspbian e pacote Test Point do PerfSONAR

A instalação do pacote Test Point ocorreu normalmente sem nenhum travamento detectado ou qualquer incompatibilidade. Durante os testes de monitoramento, as medidas foram coletadas sem detectar problemas como aquecimento ou mal funcionamento do monitor IoT, obtendo sucesso na instalação conforme figura 7. Conforme teste anterior, foi repetido a instalação do sistema operacional sem o pacote gráfico e não houve diferenças de desempenho. Conforme indicado na figura 7, a linha azul contínua representa o teste de largura de banda (Throughput) e a pontilhada no sentido reverso. A linha amarela mostra o teste de Ping, a linha rosa contínua mostra as perdas de pacote (Loss) e a pontilhada é

o mesmo teste em sentido oposto, e nos pontos vermelhos, as ocorrências de interrupções momentâneas. O teste de Latência não foi verificado.

O pacote Core foi instalado corretamente, porém ao iniciar o navegador Web para iniciar as primeiras configurações, houve congelamento da tela da mesma maneira que ocorreu com o teste utilizando o sistema operacional Ubuntu, indicando os mesmos motivos de falta de espaço de memória. Assim não houve medições.

Na instalação do pacote Central Management, a reação do monitor computador Raspberry igual ao do teste anterior, ocorrendo o a mesma inativação com congelamento da tela do computador. Assim não ocorreram medições.

Na instalação do pacote Toolkit, ocorreram reações semelhantes às dos dois pacotes anteriores e também não houve medições.

O desempenho do computador com a instalação do sistema operacional Raspbian não apresentou diferença quer seja com instalação com o pacote gráfico ou apenas com o console. Optou-se pela instalação com pacote gráfico devido à facilidade de operação, manutenção, atualização e verificação do sistema da Raspberry.

### Considerações parciais

O objetivo deste primeiro estudo foi verificar as condições de funcionamento do conjunto composto pelo computador Raspberry Pi, sistema operacional compatível e pacotes de instalação do PerfSONAR executável neste conjunto. É possível concluir que o monitor IoT tem seu melhor funcionamento com o sistema operacional Raspbian e com o pacote *Test Point* do software PerfSONAR, obtendo resultados das medições durante 1 semana, conforme mostrado na figura 7, embora a documentação do PerfSONAR [16] afirma que existe estabilidade do software, rodando no sistema operacional Ubuntu.

## 3.3 Estudo de caso II - Sistema PerfSONAR com NetBook Athom

O teste consiste na utilização de um Netbook Asus Eee PC 1005HA fabricado no ano de 2002, conforme data de gravação da Bios Basic Input/Output System, com pequeno poder de processamento para verificação das condições de reaproveitamento com compatibilidade e desempenho satisfatórios nas instalações do software PerfSONAR. Optou-se por iniciar os testes pelo pacote Toolkit, que contém as funções dos três pacotes menores Text Point, Core e Tools

O Netbook utilizado para teste contém um processador de 1,60 Ghz de velocidade, 2048 Mb de memória RAM DDR2 266,66 Mhz. Sua configuração e instalação do sistema operacional é referenciada no Anexo III.

O ambiente criado neste teste é exibido na figura 8. De um lado o mesmo notebook do Estudo de caso I rodando uma máquina virtual com servidor Perfsonar de mesma configuração, porém utilizando um endereço IP dinâmico delegado pela NAT *Network Address Translation*. O netbook foi instalado em outo ponto de presença com endereço IP fixo 189.112.118.244, Netmask 255.255.255.240 e getway 189.112.118.250, respondendo a requisições.

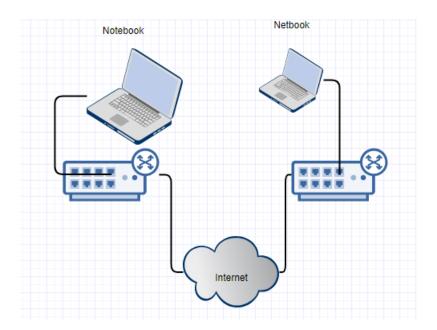


Figura 8 – Topologia utilizada no experimento.

Para este hardware, foi realizado uma pesquisa no portal PerfSONAR [16], concluindose que o sistemas operacional com maior compatibilidade é o CentOS que deriva da distribuição Linux Red Hat. Considerando que as novas versões do sistema operacional Debian já provocam lentidão na utilização deste modelo de netbook, foi instalado o CentOS 6.0 na versão 32 bits para efetuar os testes.

O procedimento de instalação de cada pacote é referenciado no Anexo III. O pacote

Toolkit foi a primeira instalação realizada através do comando yum install perfsonar-toolkit que já contém os pacotes menores. Após concluída a instalação, foi configurado o teste de RTT através comando Ping durante 1 semana e ocorreu apenas um teste de vazão Throughput durante este período.

As medições recebidas nesta instalação ocorreram sem intercorrências para com o computador utilizado, conforme figura 9. Utilizando o teste de latência pelo ping, obtiveram-se resultados oscilando entre 35,20ms no início do teste chegando a 28,16ms ao final. O teste de taxa de vasão throught obteve um resultado médio de  $4\pm0.8$  Mbps, que é satisfatório para esta infraestrutura de rede que contem controle de banda de 5Mbps.

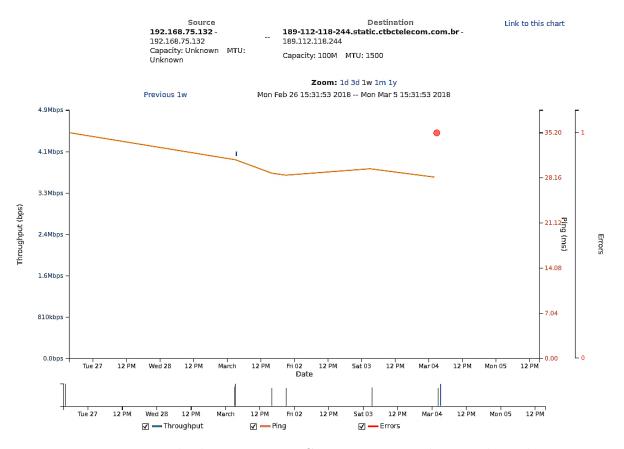


Figura 9 – Resultados entre PoPs Campus Universitário e Laboratório

A Instalação do pacote Central Management foi realizada através do comando yum install perfsonar-centralmanagement, porém ao ligar o notebook, o sistema operacional não inicializou, apontando uma incompatibilidade com a máquina devido à pouca memória RAM.

#### Considerações parciais

O objetivo deste segundo estudo foi verificar a possibilidade de utilização de um netbook com 17 anos de uso, com baixa capacidade de processamento, instalado em uma infraestrutura de monitoramento. Conclui-se que é possível a utilização deste equipamento na maioria dos pacotes do software PerfSONAR visto que o experimento foi realizado dire-

tamente com o pacote *Toolkit*, que é o mais completo dentre os pacotes de monitoramento. Já o pacote *Central Management* que reúne dados de várias infraestruturas, impediu o funcionamento do sistema operacional devido à pouca memória da maquina em questão. O melhor desempenho se apresentou com o pacote *Toolkit*.

### 3.4 Estudo de caso III

## Monitorando a Rede Rio com IoT

Neste estudo de caso foi realizado a implantação de uma infraestrutura de monitoramento de rede localizada no *Backbone* da RedeCOMEP-RIO, composto de três pontos de presença com o objetivo de obter medições realizadas através de dois monitores de rede testadas no estudo de caso I, utilizando o PerfSONAR.

A RedeCOMEP-RIO é um segmento de rede que faz parte da REDECOMEP, conforme indicada na figura 10, que consiste em um projeto de iniciativa do MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) e RNP, (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa). Tem por objetivo implementar as redes de alta velocidade nas regiões metropolitanas servidas pelos Pontos de Presença da RNP e promover a implantação de redes comunitárias metropolitanas em 26 cidades, através de recursos da Fine - agência pública que financia a inovação - desde a pesquisa básica até a preparação do produto para o mercado [3].

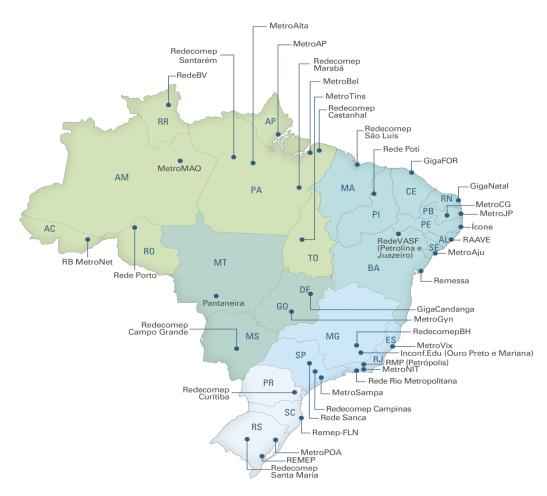


Figura 10 – Cidades interligadas pela RNP [3].

Esta rede provê infraestrutura para pesquisas científicas e tecnológicas possibilitando comunicação eficiente para projetos como telemedicina, computação em Grid, ensino à distância, videoconferências de alta definição entre outros.

A Rede COMEP-RIO referenciada na figura 11 é de responsabilidade da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, FAPERJ, em parceria com a RNP. É é constituída de nove PoPs, interligadas por fibra óptica que compõe um *Backbone* (rede de transporte) que compõe um conjunto de anéis ópticos [3].

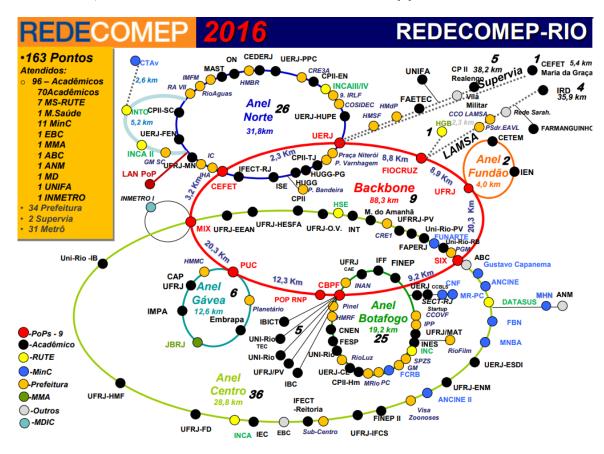


Figura 11 – Mapa da Rede COMEP-RIO

Os PoPs que compõem COMEP-RIO são o CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa), IPLAN-Rio/MIX (Empresa Municipal de Informática da Cidade do Rio de Janeiro, PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica, CEFET-RJ (Centro Federal de Educação Tecnológica), FIOCRUZ (Fundação Oswaldo Cruz, UNIRIO/SIX (Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro e UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro). A coordenação de engenharia operacional é responsável pela integridade e bom funcionamento dos serviços e conexões oferecidos na Rede Rio. A coordenação de Atividades técnicas está localizada no CBPF.

O ambiente de teste onde foi realizado a infraestrutura de monitoramento é mostrado na figura 12, indicando os três pontos de presença no *Backbone* da Rede COMEP-RIO. Os monitores IoT, compostos pelo computador Raspberry PI, sistema operacional Raspbian e configurados com pacotes PerfSONAR pontos de teste (*Test Point*), foram

instalados nos pontos de presença da rede MIX e SIX, sendo os primeiros PoPs (*Point of Presence*) a serem monitorados com este sistema.

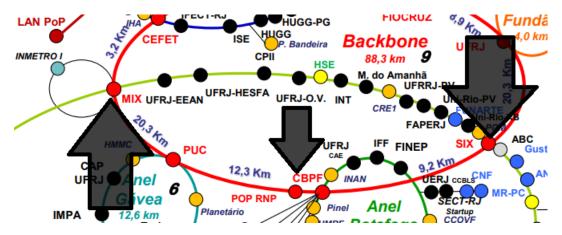


Figura 12 – Pontos de presença dos monitores de rede.

Os dois segmentos de rede analisados foram entre os PoPs CBPF - SIX e CBPF MIX por serem os pontos de grande tráfego. O programa recebeu as informações de monitoramento dos testes de Largura de banda (Througput), perda de pacote (Loss) e Latência, no sentido único e nos dois sentidos. O período escolhido para analisar os testes foi entre 17/12/2018 até 01/07/2019. O servidor de monitoramento responsável por reunir e apresentar ao administrador todos os dados colhidos nos testes, fica no PoP referenciado ao centro da figura 12, situado no CBPF, instalado em uma VM. A figura 13 consiste na tela do servidor no pop CBPF, mostrando a página do software PerfSONAR que indica quais os módulos de monitoramento estão ativos.

Na parte superior da tela da figura 13, o software apresenta as informações de domínio de rede do ponto em que o servidor está presente. O quadro logo abaixo dessa tela com o título *Services* indica os testes que o PerfSONAR está provendo na rede. Estes ficam em estado de espera para receber requisições de qualquer outro servidor que o solicite. Na porção inferior, apresenta-se o quadro *Test Results* onde se encontra os resultados dos testes agendados e executados neste servidor, com as métricas configuradas anteriormente pelo pelo administrador. Na parte direita da tela, encontram-se as informações da máquina e testes sob demanda *on-demand*.

A indicação que o servidor está colhendo informações corretamente é mostrado na figura 14, que apresenta a primeira tela obtida das medições. Os resultados obtidos nesta tela serão analisados em particular nos próximos testes dos segmentos de rede CBPF-MIX e CBPF-SIX. Explorando as funcionalidades da tela apresentada na figura 14, em sua porção superior, existem botões coloridos com títulos de todos os testes, proporcionando um filtro onde pode-se ligar ou desligar um determinado gráfico, separando os resultados individualmente, possibilitando uma análise de cada teste em particular.

#### Resultados no segmento de rede CBPF-MIX

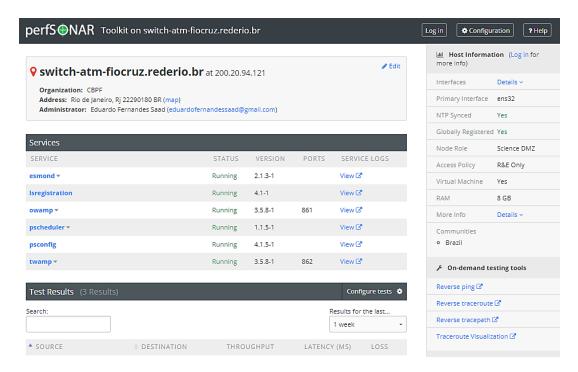


Figura 13 – Tela do PerfSONAR configurado no PoP CBPF com servidor como Toolkit.

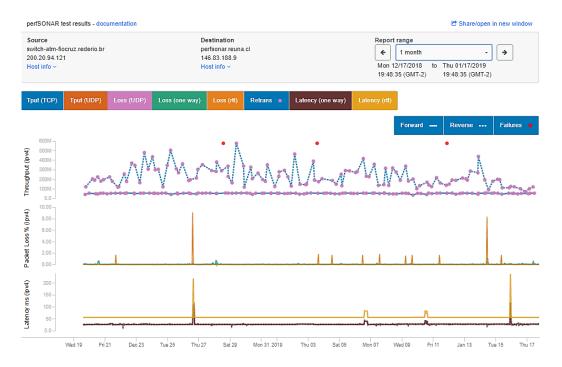


Figura 14 – Tela de resultado dos testes programados.

No segmento de rede CBPF-MIX, foi instalado um monitor IoT no PoP MIX, conforme mostrado na figura 12, indicado na primeira seta à esquerda. Neste ponto de presença, foi instalado o IoT-computador Raspberry PI, conectado à porta Ethernet de 100 Mbits/s, cuja figura 15 mostra como ficou a instalação no local.

As métricas utilizadas em relação ao trecho CBPF-MIX foram definidas utilizando os parâmetros sugeridos do software PerfSONAR . O tempo de monitoramento analisado



Figura 15 – Monitor IoT instalado na rede MIX.

neste estudo compreende entre 20/12/2018 a 20/01/2019. A figura 16 relaciona as configurações dos testes programados.

Mix - Latência Sentido único	One-way latency		1 host	•	•	Û
Mix - Ping	Ping (RTT)	5 minutes	1 host	•	٠	Û
Mix - Taxa de Transferência	Throughput - TCP	6 hours	1 host	•	٠	Û
Mix - Trcr	Traceroute	10 minutes	1 host	0	•	Û

Figura 16 – Tela de programação das métricas dos testes do segmento CBPF-MIX.

Os resultados obtidos neste segmento de rede CBPF-MIX é mostrado em uma só tela de acordo com a figura 17. Em seguida, os testes serão apresentados separadamente e verificadas as medições recebidas durante cada teste, facilitando a análise individual.

O Teste de Latência por método do Ping ( $Latency\ rtt$ ) mostra uma pequena variação no segmento entre CBPF e nó de rede MIX com um pequeno índice de atraso de  $0.51\pm0.1$  ms durante a seu monitoramento, conforme figura 18.

No teste de taxa de transferência *Througput*, não houve medições do teste. Infere-se que o motivo seja relacionado com a politica de Segurança QoS (*Quality of Service*). Esta politica é referida nas Diretrizes de Segurança da Rede-Rio [21], que informa "...qualquer evento que ameace a integridade da informação deve ser reportada aos responsáveis para interromper as atividades maliciosas.", o que ocorreu quando o referido teste foi iniciado, provocando a atitude de desligamento manual do equipamento.

No teste de perda de pacote de sentido único (Loss one-way), nota-se apenas um

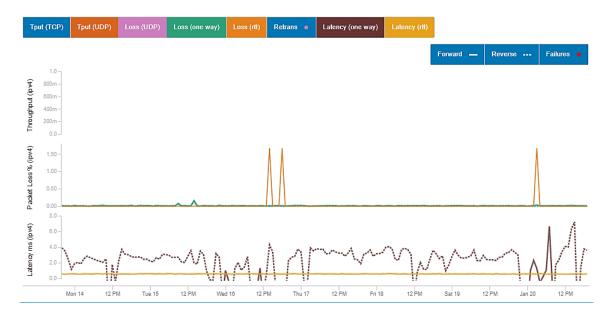


Figura 17 – Tela com todos os testes do trecho CBPF-MIX. Os valores são abordado individualmente nas próximas figuras

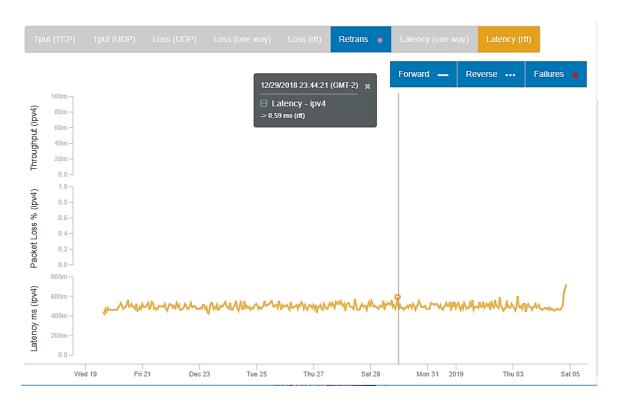


Figura 18 – Teste de Latência por método do Ping (Latency rtt) do segmento CBPF-SIX.

pico de perda de pacote conforme figura 19. O evento aconteceu em 02/01/2019 às 09:00:02; houve um pico de perda de pacote de 31,89% no sentido CBPF-MIX e no sentido oposto ao servidor de 20,83%. Durante os outros momentos, a taxa de perda de pacote no sentido CBPF/MIX ficou oscilando entre 0% e 0,01111%. Já no sentido reverso, a taxa da perda de pacote oscilou entre 0% e 0,002778%. Esta taxa mostra que não existem perdas de pacotes significativas, remetendo a qualquer reparo ou manutenção.

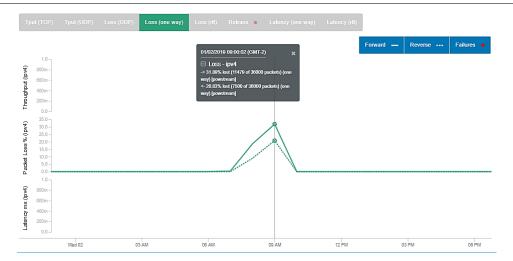


Figura 19 – Pico de perda de pacote no sentido único

O teste de Perda de pacote pelo método Ping com mesma duração do teste anterior, observam-se duas oscilações. Em 21/12/2018, das 16:09:22 até 18:34:05, houve uma interrupção na comunicação. E em 01/12/2019 às 09:00:10, houve um pico momentâneo de 50% de perda.



Figura 20 – Teste de perda de pacote por método do Ping ( $Loss\ Rtt$ ) no segmento CBPF-MIX

O teste de Latência de Sentido único (*Latency on way*) é mostrado na figura 21, onde se verificam dois picos máximos de latência. O primeiro marcando um atraso de 11.5ms no sentido CBPF-MIX e o segundo no sentido reverso a 8,2ms. O restante dos resultados oscilam entre 0,14ms e 3,6ms.

Já no Teste de Latência por método do Ping ( $Latency\ rtt$ , pode-se verificar que ocorreram dois picos de latência conforme visto na figura 22. No restante do tempo a média ficou em  $0.53\pm0.02$  ms.

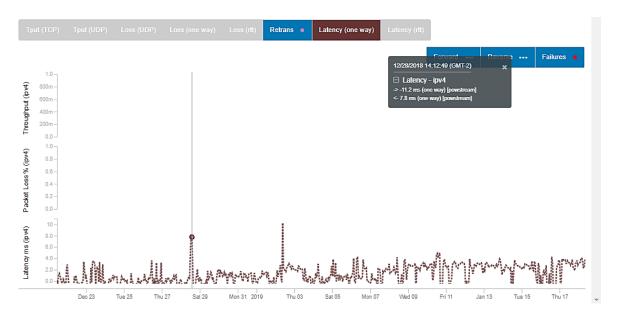


Figura 21 – Teste de Latência de Sentido único (Latency on way) do segmento CBPF-MIX

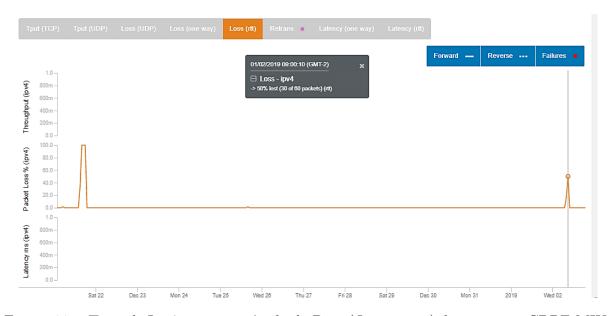


Figura 22 – Teste de Latência por método do Ping (Latency rtt) do segmento CBPF-MIX.

#### O segmento de rede CBPF-SIX

No segmento de rede CBPF-SIX onde se realizou uma nova análise do tráfego, foi instalado outro monitor IoT com o mesmo procedimento executado no PoP MIX, conforme indicado na marcação à direita da figura 12. A instalação física do monitor está indicada na figura 23.

As métricas utilizadas em relação ao trecho CBPF-SIX foram definidas utilizando os parâmetros sugeridos do software PerfSONAR. A figura a seguir relaciona as configurações dos testes programados.



Figura 23 – Instalação da monitor IoT na rede SIX.

SIX - Latência sentido único	One-way latency		1 host	•	٠	Û
SIX - Ping	Ping (RTT)	5 minutes	1 host	•	•	Û
SIX - Taxa de Transferência	Throughput - TCP	6 hours	1 host	•	٠	â
SIX - Trcr	Traceroute	10 minutes	1 host	0	٥	Ü

Figura 24 – Tela de programação das métricas dos testes.

Os resultados dos testes estão agrupados na figura 25, conforme apresentado pelo PerfSONAR, quando os resultados foram solicitados. Em sequência, é analisado cada teste em particular.

No teste de taxa de transferência (Througput), sua medição foi executada no período entre 16:41:50 a 23:02:14 na data de 19/12/2018. A primeira medição foi de 31.18 Mbits/s e a segunda 33,52 Mbits/s. Foi detectado um crescimento de 2,34 Mbits/s neste período. Nota-se ainda, na figura 26, que no sentido reverso, houve um pequeno crescimento em dois momentos. Às 05:05:20 houve um aumento de 0,42 Mbits/s e às 07:49:00 houve outro aumento para 0,68 Mbits/s. Na tabela abaixo constam as medições dos outros intervalos.

O teste de perda de pacote de sentido único ( $Loss\ one$ -way) injeta pacotes TCP na rede em um sentido para efetuar medição e em seguida no sentido inverso, efetuando o mesmo procedimento. Durante a maior parte do teste que acorreu entre 17/12/2018 e



Figura 25 – Tela dos resultados dos testes entre CBPF-SIX.

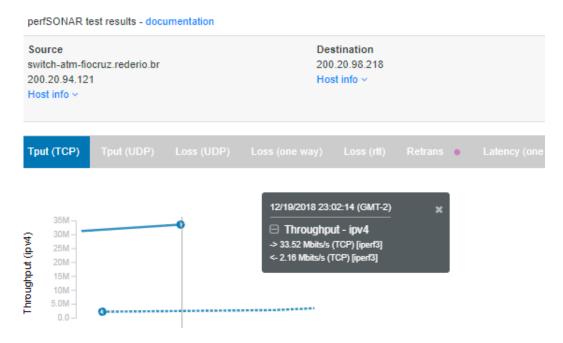


Figura 26 – Tela de Resultado do teste de Througput entre CBPF-SIX.

17/01/2019, a medição se manteve sem alterações e com poucos picos. A taxa de perda de pacote no sentido CBPF/SIX ficou oscilando entre 0.8% e 0.9%. Já no sentido inverso, a taxa oscilou entre 0.01% e 0.001%, conforme figura 27.

A figura 28 é uma aproximação do gráfico anterior 27 que ocorreu em 21/12/2018 às 18:34:20, no qual verificou-se uma perda de pacote de 3,94% e no sentido inverso ao servidor, 2,075%.

Infere-se que os motivos para esta perda de pacote podem ser dois - conforme descritos neste estudo no capítulo 2, como Fundamentação Teórica, especificamente em

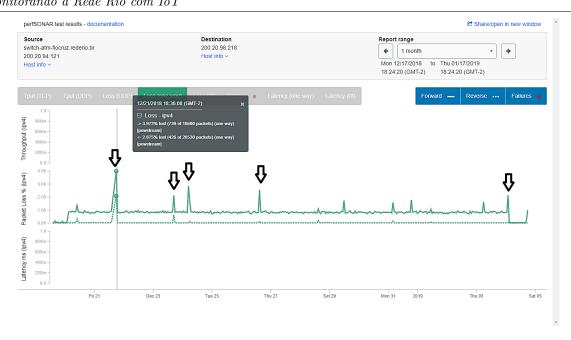


Figura 27 – Teste de perda de pacotes de sentido único (*Loss one-way*) do segmento CBPF-SIX

Métricas de desempenho. São eles: Overflow ocasionando filas nos roteadores por congestionamento do segmento de rede, necessitando de uma investigação nos roteadores para detectar se algum nó se encontra com sobrecarga de recursos. O outro motivo seria a troca dos bits do pacote no meio físico por ruído ou distorção, provocado por interferência externa.

O teste de Perda de pacote pelo método Ping ocorreu no mesmo intervalo de tempo do teste anterior entre 17/12/2018 e 17/01/2019, no qual se observa um pico. Em 21/12/2018, entre 15:03:30 até 17:03:24, o computador que contém o pacote Test-Point do PerfSONAR não respondeu ao Ping. Em 04/01/2019 às 19:43:47, houve um desligamento intencional do monitor IoT, conforme indicado na próxima figura.

O pico indicado neste gráfico ocorreu no mesmo instante do teste anterior pelos os mesmos motivos. Durante o restante do tempo, a taxa de perda de pacote ficou oscilando entre o mínimo de 0.0% e o máximo de 10.77 em 03/01/2019 à 1:34:00. A taxa média ficou em 0.986% durante o tempo de medição.

No teste de Latência de Sentido único (Latency on way) ocorreu uma variação entre 0 e 5ms durante o mesmo período, conforme a figura 30. Os cinco picos mais altos de latência podem caracterizar algum evento de transmissão de grandes quantidades dados que consomem recursos de rede. Infere-se sobre a possibilidade de ocorrer overflow nas filas de roteadores, necessitando uma investigação detalhado nos roteadores.

Como indicado nesta figura, O primeiro pico ocorreu em 19/12/2018 às 14:29:12 com um atraso de 3,2ms no sentido CBPF-MIX e, no sentido oposto, com um atraso de 2,8ms. O segundo pico foi o mais alto, caracterizado no gráfico com uma marcação



Figura 28 – Pico durante o teste de perda de pacotes (Loss one-way).

circular. Ocorreu em 21/12/2018 às 21:28:49 com um atraso de 4,4ms no sentido CBPF SIX e no sentido contrário com um atraso de 11,4 ms. O terceiro pico foi em 25/12/2018 às 04:01:23 com taxa de latência no sentido CBPF-SIX de 2,7ms e no sentido inverso de 3,5ms. O quarto pico aconteceu em 26/12/2018 às 15:21:07 com taxa de latência no sentido CBPF-SIX de 3.0ms e no sentido oposto de 4,4 ms. O quinto e último pico que se destacou, aconteceu em 29/12/2018 às 21:00:06 com um atraso de 4,2ms no sentido CBPF-SIX e no sentido reverso de 4,5 ms. As datas e latências supracitadas podem são representadas pelas flechas existentes na figura 29.

#### Considerações parciais

No conjunto IoT composto pelo computador Raspbery Pi, o sistema operacional Raspbian e o programa de monitoramento PerfSONAR funcionaram intercorrências de hardware ou software. Todos os teste disponíveis no software PerfSONAR foram realizados nos dois segmentos da rede COMEP-RIO. Apenas no teste throughput, que injeta pacotes de dados na rede para efetuar sua medição, não se obteve resultados. Conforme citado anteriormente, infere-se que o sistema de segurança seja o responsável pela falta de medições. Pode-se concluir que a infraestrutura montada é viável e funcional, podendo ser utilizada permanentemente bastando informar ao sistema de segurança a emissão de pacotes por parte do IP do IoT monitor.

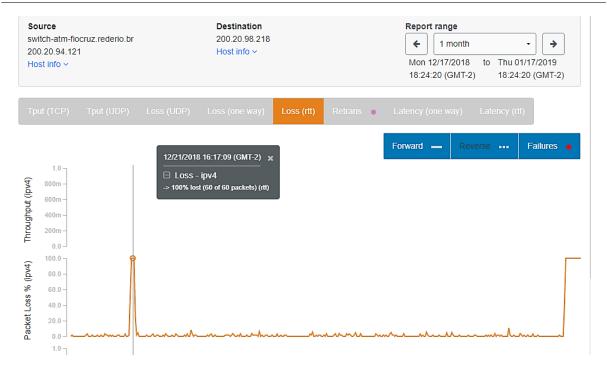


Figura 29 – Teste de perda de pacote por método do Ping (Loss Rtt) do segmento CBPF-SIX.

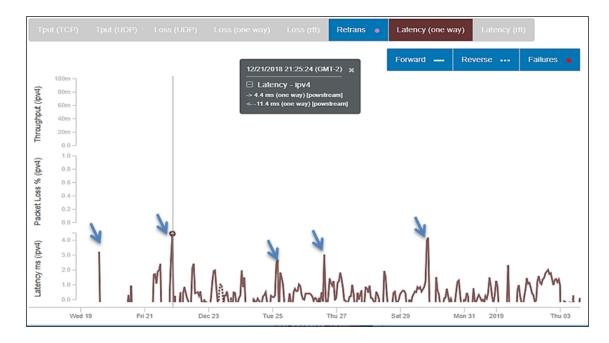


Figura 30 – Teste de Latência de Sentido único (Latency on way) do segmento CBPF-SIX.

## 3.5 Estudo de caso IV

## Monitoramento entre Brasil e Chile utilizando PerfSONAR: Uma contribuição ao Projeto Cherenkov

O projeto *The Cherenkov Telescope Array* (CTA), é uma iniciativa multinacional para instalação de antenas de captação de raios gama, aberto à comunidade astronômica [22].

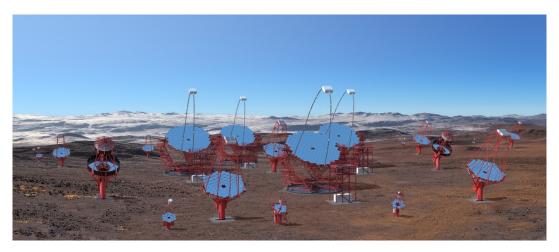


Figura 31 – Local de instalação das antenas de captação de raios gama.

O local do hemisfério sul onde se encontra CTA, fica a menos de 10 km a sudeste do Observatório Paranal do Observatório Europeu do Sul (ESO), no deserto de Atacama, no Chile, considerado uma das regiões mais secas e isoladas do planeta que configura um paraíso para astrônomos [23].

A motivação deste estudo de caso é estudar a qualidade da transmissão de dados entre o CBPF e CTA para que pesquisadores do brasil possam utilizar grandes quantidades de dados do observatório referido, mensurando a qualidade de transmissão em tempo real através dessa infraestrutura de monitoramento com o PerfSONAR. A vocação do CBPF em produzir ciência exatamente nos campos da astronomia e física de partículas traz a necessidade de verificar a viabilidade de transmissão de dados entre o CTA e o CBPF possibilitando estudos avançados no Brasil. A Coordenação de Cosmologia, Astrofísica e Interações Fundamentais - COSMO é responsável por desenvolver pesquisas no campo da cosmologia, astrofísica relativística promovendo linhas de pesquisa através do grupo de Cosmologia e Gravitação e também através do grupo de Lentes Gravitacionais e Cosmologia, que serão largamente contemplados com informações recebidas diretamente do observatório [24] A expansão das antenas com tecnologias de ponta, possibilita um grande impulso nas pesquisas para o CBPF [22] .

O ambiente de teste consiste na maquina virtual criada para o estudo de caso III e um servidor colaborativo do PerfSONAR no chile.

A metodologia aplicada iniciou-se pela análise do caminho entre o CBPF e um nó colaborativo da comunidade PerfSONAR, localizado em Ñuñoa, Santiago, RM 7750268 CL, no endereço IP <a href="http://146.83.188.9">http://146.83.188.9</a> e com domínio Reuna.

As métricas utilizadas no trecho CBPF-Reuna foram os parâmetros sugeridos do software PerfSONAR durante um tempo de monitoramento compreendendo entre 17/12/2018 a 17/01/2019.

A figura 32 relaciona as configurações dos testes programados do software PerfSO-NAR, acatando os parâmetros que o programa sugere ao solicitar o serviço de monitoramento.

Reuna - Latência de sentido único	One-way latency		1 host	•	٥	û
Reuna - Ping	Ping (RTT)	5 minutes	1 host	•	٠	Û
Reuna - TRCR	Traceroute	10 minutes	1 host	•	٠	Û
Reuna - Taxa de Transferência	Throughput - TCP	6 hours	1 host	•	٥	Û

Figura 32 – Tela de configuração dos testes do PerfSONAR para o trecho CBPF-Reuna

Para verificar a rota mais eficiente, foi utilizado a função *Tracerout* que integra o software PerfSONAR, encontrado na tela principal do software. Os resultados deste caminho podem ser visto na figura 33,

Na figura 34, encontram-se todos os testes reunidos em uma só tela. Em seguida será abordado separadamente cada teste de medição com suas análises.

#### Teste de taxa de transferência (Throughut)

Na figura 35, é mostrado o resultado da taxa de transferência entre CBPF e Reuna, cuja medição alcançou em média de 50,86±4,84 Mbits/s na ida, oscilando entre 33,13 Mbits/s e 55,13 Mbits/s sem grandes picos ou alterações ao longo do monitoramento.

Já no sentido inverso, Reuna-CBPF a taxa de transferência tem uma oscilação entre  $117.25~\rm Mbits/s$  e  $575.44~\rm Mbits/s$  apresentando uma média em torno de  $248,99\pm109,23~\rm Mbits/s$ , conforme figura 36.

Esta diferença de taxas - de praticamente dez vezes - a respeito das das medições apresentadas entre os sentidos de tráfego, necessita de uma investigação detalhada em descobrir entidades de rede que possuem controle de banda em algum ponto do caminho, pois ambas as pontas do segmento de rede operam em a uma velocidade de 1 Gbits/s.

#### Teste de perda de pacote de sentido único (Loss one-way).

Nota-se três picos de perda de pacotes relevantes na figura 37. O primeiro em

PerfSonarCBPF (200.20.94.121)> perfsonar.reuna.cl (146.83.188.9) V					
Do not de-duplicate results	Submit query				

## Topology beginning at Mon Jul 1 00:05:44 2019 (UTC -3)

Hop	Router	IP	Delay	MTU
1	gateway	200.20.94.110	0.9ms	
2	200.20.96.73	200.20.96.73	0.7ms	
3	200.20.96.5	200.20.96.5	0.7ms	
4	rederio-rj.bkb.rnp.br	200.143.254.138	0.4ms	
5	sp2-rj-oi.bkb.rnp.br	200.143.253.221	8.1ms	
6	sp-sp2.bkb.rnp.br	200.143.253.37	8ms	
7	200.0.204.194	200.0.204.194	9.1ms	
8	200.0.204.92	200.0.204.92	55.7ms	
9	rtr1-core-reuna.redclara.net	200.0.204.161	137.3ms	
10				
11	perfsonar.reuna.cl	146.83.188.9	55.7ms	

Figura 33 – Caminho entre CBPF e Santiago do Chilh

20/12/2018 às 15:43:36 com perda de 0.6% no sentido CBPF-Reuna. O segundo pico aconteceu em 28/12/2018 às 03:48:35 com perda de 0,7778%. O terceiro pico se dá apenas no sentido inverso de tráfego, Reuna-CBPF em 14/01/2019 às 12:34:23 com 0,9972% de perda. Em todos os outros momentos, a taxa de perda de pacote no sentido inverso, Reuna-CBPF, oscilou pouco, marcando a faixa entre 0% e 0,03%.

### Teste de perda de pacote por método do Ping (Loss Rtt).

O teste de Perda de pacote pelo método Ping apresentou dois grandes picos. O primeiro ficou em 9,091% de perda apresentada em 26/12/2018 às 15:13:10. O segundo pico apresentou em 14/01/2019 às 11:10:33 que ficou na casa de 8,333%. Os outros nove pequenos picos foram em torno de 1,818%, em média. No restante do tempo se apresentou em 0%.

## Teste de Latência de Sentido único (Latency on way).

Na a figura 39, observam-se dois grandes picos de latência. O primeiro marcando um atraso de 107,7 ms no sentido CBPF-Reuna e, no sentido reverso um atraso de 106,0 ms em 26/12/2018 às 16:50:06. O segundo acontece em 15/01/2019 às 23:45:57 com uma taxa de latência de 117,6 ms e no sentido reverso, de 115,2 ms.

Houve também outros dois pequenos picos. O primeiro iniciou-se em 01/06/2019



Figura 34 – Tela com todos os testes do trecho CBPF-Reuna



Figura 35 – Gráfico de taxa de transferência (Througput) no sentido CBPF-Reuna.

em 15:28:54 com uma latência de 39,2 ms e 42,8 ms no sentido inverso que perdurou até 19:06:25. O segundo pico ocorreu em 10/01/2019 às 12:10:20 com uma latência de 40,5 ms e 41,3 ms no sentido reverso. Os restantes dos resultados oscilaram muito pouco entre 25,8 ms e 26,6 ms nos dois sentidos.

#### Teste de Latência por método do Ping Latency rtt.

Na figura 40, observa-se dois grandes picos de latência. O primeiro marcando um atraso de 218,0 ms em 26/12/2018 às 16:50:06. O segundo acontece em 15/01/2019 às 23:54:12 com uma taxa de latência de 237,0 ms. Houve também dois pequenos picos. O primeiro iniciou-se em 01/06/2019 em 15:08:19 com uma latência de 82,5 ms que se



Figura 36 – Gráfico de taxa de transferência (Througput) no sentido Reuna-CBPF.

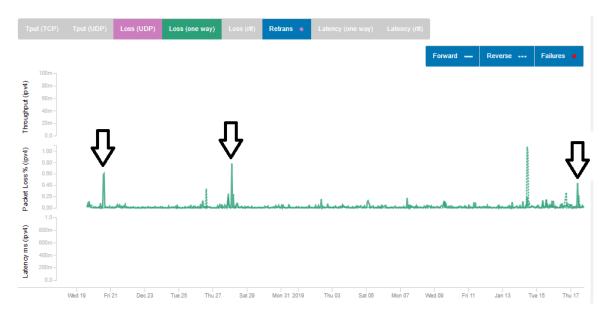


Figura 37 – Teste de perda de pacote de sentido único (Loss one-way).

perdurou até 19:15.09. O segundo pico se apresenta em 10/01/2019 às 12:09:37 com uma latência de 82,6 ms. O restante dos resultados oscilaram muito pouco entre 55,5 ms e 55,8 ms nos dois sentidos. Assim pode-se concluir a rede se manteve estável na maior parte do tempo, com picos de perda de pacotes muito pequenos, e taxa de transferência em torno de 575,44 Mbs. Todas as medições foram conhecidas indicando ao usuário se a taxa de transferência é viável para realizar o recebimento de dados do CTA para CBPF. Deve-se ressalta o fato de não existir um servidor PerfSONAR após Santiago do Chile, no segmento de rede entre CBPF e CTA. Portanto, não é possível utilizar este software de monitoramento entre Santiago (Reuña) e CTA até o fechamento deste estudo.

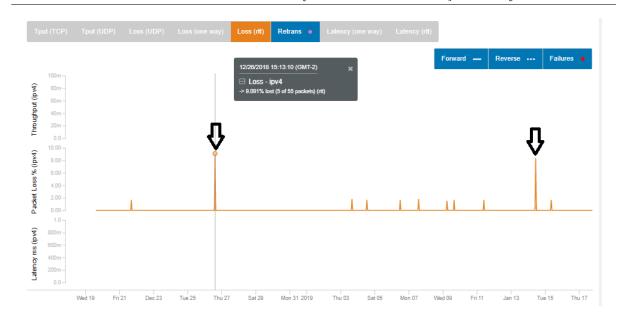


Figura 38 – Teste de perda de pacote por método do Ping (Loss Rtt) do trecho CBPF-Reuna.

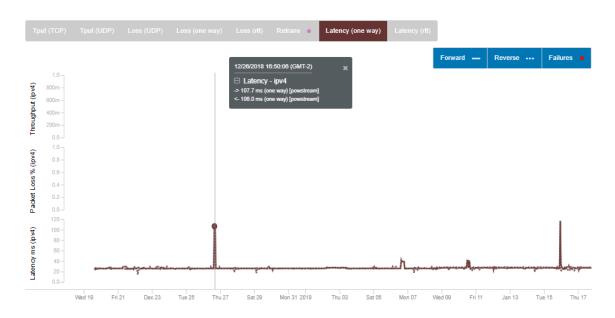


Figura 39 – Teste de Latência de Sentido único (Latency on way ) do trecho CBPF-Reuna.

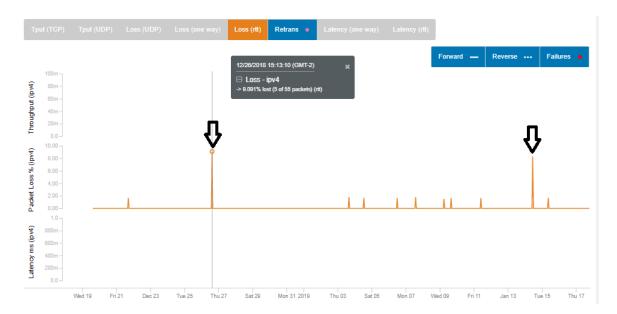


Figura 40 – Teste de Latência por método do Ping (Latency rtt)

## 4 Considerações Finais

## 4.1 Conclusão

O objetivo proposto por este trabalho - estudar o comportamento do PerfSONAR, instalado em computadores de baixo poder de processamento - foi alcançado e concluído nos três primeiros estudos de caso. O quarto estudo de caso teve por objetivo a análise do caminho de rede entre o CBPF e o local mais próximo do observatório CTA, trazendo os resultados do monitoramento de rede para pesquisadores do CBPF.

Como resultado do primeiro estudo de caso, foi verificado que dentre os pacotes testados neste estudo, somente o pacote TestPoint com sistema operacional Raspbian instalados em um computador Raspberry PI, apresentou condições de operação sem intercorrências, visto que com os pacotes com mais funções, ocorreram travamento da máquina.

Com a realização do segundo estudo de caso com um Notebook com 12 anos de uso, pode-se concluir que o melhor desempenho ocorreu com a instalação do pacote Toolkit. Considerando que o acesso dos resultados de monitoramento colhidos pelo PerfSONAR se dá através do navegador Web, houve lentidão do carregamento dos resultados em ambiente local, porém ao acessar o navegador através de outro computador da rede, não houve atrasos, possibilitando sua rápida leitura.

O terceiro estudo de caso foi realizado com o objetivo de estudar dois computadores Raspberry/Debian/PerfSONAR configurados conforme o estudo de caso I, instalados em ambiente real. Como decorrência, pode-se constatar que os resultados de latência e perda de pacotes ficaram perto de zero, com poucos picos durante o monitoramento. Apenas o teste de largura de banda foi inexistente, no qual se pode inferir que as diretivas de segurança implementado na rede impediram a realização do teste.

O quarto estudo de caso foi o monitoramento do tráfego entre CBPF e chile, trouxe resultados significativos de largura de banda (Throughput), com pico de 574,4 Mbits/s e média  $248,99\pm109,23$  Mbits/s no sentido Chile-CBPF. Os teste de perda de pacote foram mínimas com média de  $0,6\%\pm0,3$ , com apenas dois picos momentâneos de  $9\%\pm1$  em média no teste de perda de pacote com Ping. Conclui-se que esta infraestrutura de monitoramento fornece informação necessária em tempo real para que pesquisadores possam estimar o tempo de carregamento dos dados do CTA para o CBPF, mostrando qual o consumo de recursos é utilizado em um instante, através da medida da largura de banda, visto que outros testes obtiveram medidas muito pequenas para afetar a transmissão.

Conclui-se que o PerfSONAR tem grande flexibilidade em operar com IoTs e equipamentos de paixa performance na maioria dos testes e sua implantação em ambientes de alto tráfego é possível.

## 4.2 Trabalhos futuros

No estudo de caso III, As medições com Raspberry Pi com placa de rede 100 Mbs, operando com o software de monitoramento PerfSONAR e executando o teste de largura de banda Throughput em um ambiente de rede Gigabit, foram inexistentes em um segmento de rede e inconsistente em outro, pela diferença de velocidade entre as interfaces de rede. Para trabalhos futuros, sugere-se testar a utilização de placas Ethernet de 1Gbits conectadas à porta USB de mesma velocidade para que o funcionamento desta configuração seja analisado.

Próximo ao fechamento deste trabalho, foi verificado o lançamento de uma versão da Raspberry PI 4 com placa Ethernet Gigabit e 4Gb de memória Ram, melhorando sua performance de acordo com o fabricante, merecendo um estudo futuro.

Para o estudo de caso IV, necessita-se que haja uma investigação do segmento de rede entre Santiago e o observatório do CTA no deserto do Atacama através de outra ferramenta de monitoramento de rede, pois até o conclusão deste estudo, não foi encontrado um servidor PerfSONAR no CTA que fosse capaz completar a análise da taxa de transferência efetuada neste estudo.

## Referências

- [1] PerfSONAR, http://docs.perfsonar.net/install\_hardware.html *Hardware Require-ments*, 4 2018. PerfSONAR T. 4. documentation. Citado 7 vezes nas páginas 15, 29, 30, 31, 32, 33 e 34.
- [2] PANDORALAB, http://pandoralab.com.br/loja/raspberry-pi-essencialso, Raspberry PI Essencial, 4 1998. acesso em janeiro de 2019. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 34.
- [3] REDECOMEP, "O que é.," in *REDECOMEP*, (http://redecomep.rnp.br/oquee/), Mar, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 15, 43 e 44.
- [4] D. C. dos Santos et al., "Imam-uma ferramenta para monitoramento inteligente de sistemas e dispositivos em infraestruturas críticas de iot," 10° Simposio Brasileiro de Computação Ubiqua e Pervasiva (SBCUP 2018), vol. 10, 7 2018. https://portaldeconteudo.sbc.org.br/index.php/sbcup/article/view/3298. Citado 3 vezes nas páginas 21, 25 e 26.
- [5] G. Batisti, "Modelo de gerenciamento para infra-estrutura de medições de desempenho em redes de computadores," LUME Repositório digital UFRGS, 2007. Tese de doutorado. Disponível em https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12671, acesso em janeiro de 2019. Citado na página 21.
- [6] N. P. Ligocki, "Uma ferramenta de monitoramento de redes usando sistemas gerenciadores de streams de dados," Master's thesis, UFPR-Universidade Federal do Paraná, https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/17767/dissertacao.pdf? sequence=1, 3 2007. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 26.
- [7] N. Dias, Beethovem Zanella; Alves JR, "Protocolo de gerenciamento snmp," (http://www.rederio.br/downloads/pdf/nt00601.pdf), acesso em outubro de 2018, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 26.
- [8] P. H. Diniz and N. A. Junior, "Ferramenta iperf: geração e medição de tráfego tcp e udp," *Notas Técnicas*, vol. 4, no. 2, 2014. Citado na página 22.
- [9] P. da Silva Alves and G. S. da Silva, "Perfsonar: uma infraestrutura para monitoramento da qualidade de redes de computadores utilizando a internet/perfsonar: an infrastructure for quality monitoring of computer networks over the internet," *Brazilian Journal of Development*, vol. 5, no. 4, pp. 3145–3165, 2019. Disponível em http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1431, acesso em janeiro de 2019. Citado na página 23.

Referências

[10] D. Comer, Interligação de Redes com TCP/IP-: Princípios, Protocolos e Arquitetura, vol. 1. Elsevier Brasil, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

- [11] A. e. a. Tanenbaum, *Redes de computadores*, vol. 1. Pearson Brasil, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- [12] K. W. Ross and J. F. Kurose, *Redes de Computadores e a Internet: Uma abordagem top-down*. São Paulo: Editora Pearson, 2006. Citado na página 26.
- [13] A. Briggs and P. Burke, *Uma história social da mídia: de Gutenberg à Internet*. Zahar, 2016. Citado na página 26.
- [14] M. A. Fabricio *et al.*, "Monitoramento de equipamentos elétricos industriais utilizando iot," Master's thesis, http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1059, 7 2018. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- [15] A. Leinwand and K. Conroy, *Network Management'Addison*. Wesley Publishing Company, Inc, 1996. Citado na página 27.
- [16] PerfSONAR, https://docs.perfsonar.net/install\_small\_node\_details.html, PerfSONAR on Low-cost Hardware, acesso em abril 2019. In PerfSONAR Toolkit 4.1.6 documentation. Citado 3 vezes nas páginas 30, 39 e 40.
- [17] PerfSONAR, http://docs.perfsonar.net/install\_options.html, *PerfSONAR Installation Option*, acesso em março 2019. In PerfSONAR Toolkit 4.1.6 documentation. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.
- [18] G. Almes, S. Kalidindi, and M. Zekauskas, "A one-way packet loss metric for ippm," tech. rep., RFC 2681, 9 1999. Acesso em agosto de 2018. Citado na página 32.
- [19] R. Droms, D. Oran, and I. T. P. Specification, "Icnrg s. mastorakis internet-draft ucla intended status: Experimental j. gibson expires: September 28, 2017 i. moiseenko cisco systems," 2017. Citado na página 32.
- [20] Raspberry PI Foundation, Raspberry PI Documentation, 06. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 71.
- [21] REDERIO, "Diretrizes de ações referentes a incidentes de segurança envolvendo instituições da rederio e computadores/faperj," tech. rep., Disponível em http://rederio.br/downloads/Diretrises-Seguranca-RedeRio-vF.pdf, 2013. Acesso em novembro de 2018. Citado na página 47.
- [22] E. F. Saad and N. Alves JR, "Monitoramento de rede entre brasil e chile utilizando perfsonar: Uma contribuição ao projeto cherenkov," *Notas Técnicas Publicações CBPF*, no. NT2236-76402019.02.004, 2019. Citado na página 56.

Referências 67

[23] CTA, "Matriz de telescópios cherenkov." Disponível em http://www.cta-observatory.org, acesso em março de 2018. Citado na página 56.

- [24] CBPF, "Cosmo coordenação de cosmologia, astrofísica e interações fundamentais," 2018. Disponível em: http://portal.cbpf.br/pt-br/estrutura-organizacional/diretoria/cosmo, Acesso em novembro de 2018. Citado na página 56.
- [25] RBTECH, "Os 5 melhores softwares para identificação de hardware," 2018. Citado na página 71.
- [26] TECMUNDO, "Como formatar um cartão de memória pelo computador?," 2018. Citado 2 vezes nas páginas 71 e 75.



# ANEXO A – Softwares utilizados nos estudos de caso

O Aplicativo Speccy - disponível de forma gratuita - verifica configurações de hardware (*Opensource*). A figura 41 mostra a versão 1.31.732 que verifica detalhes do hardware do computador e dados da arquitetura como: CPU, RAM, Placa Gráfica, Usb e qualquer hardware conectado [25].

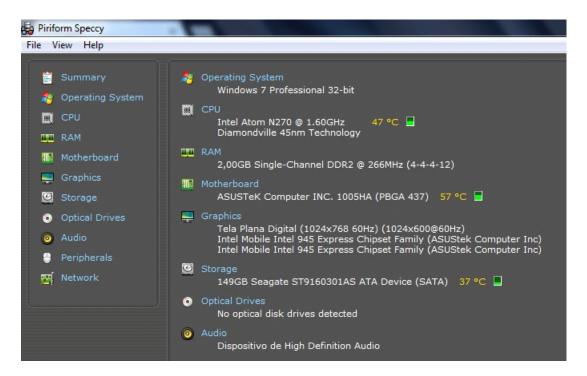


Figura 41 – Tela do Speccy contendo a configuração do computador.

O SD format é utilizado para formatar cartões de memória. O Raspberry PI necessita de uma cartão formatado antes da instalação do sistema operacional e aplicativos. Inicialmente desenvolvido pela empresa Panasonic, posteriormente recebeu colaborações de outras empresas do ramo tecnológico. É chamada de SD card (Secure Digital) por utilizar recursos de criptografia e de gestão de direitos autorais [26].

O software NOOBS (New Out Of Box Software) é um projeto realizado pelo Raspberry Pi Foundation cujo principal objetivo é agilizar a instalação de sistemas operacionais em computadores Raspberry Pi. Ele oferece uma interface gráfica, onde o usuário pode escolher facilmente o sistema operacional dentre as opções que ele oferece e instalá-lo no espaço disponível do cartão, como exibido na figura 43. O usuário apenas deverá ter um cartão com o mínimo de 4GB e copiar o programa NOOBS [20].

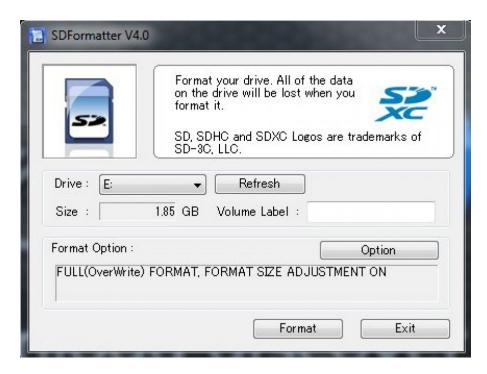


Figura 42 – Tela do sofware SD Formatter

O Win32 Disk Image - distribuído na forma gratuita - mostrada na figura 44, possui apenas duas funções: a primeira função é criar arquivos de imagem no formato ISO a partir de memórias flash como cartão SD e a segunda é extrair de uma imagem ISO para um dispositivo de gravação.

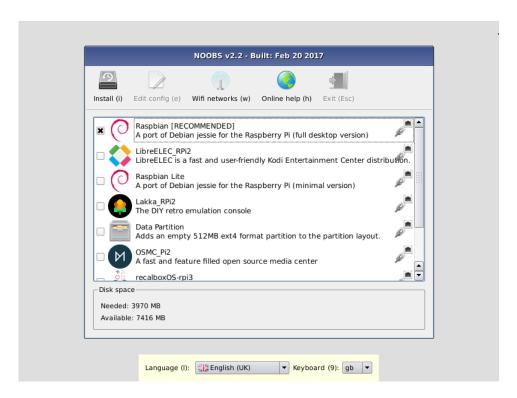


Figura 43 – Tela do NOOBS versão 2.2

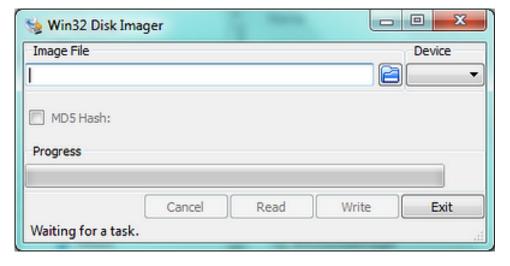


Figura 44 – Tela do Win32-image-escritor.

## ANEXO B — Instalação do Sistema Operacional de uma imabem ISO em um SD Card.

A instalação de qualquer sistema operacional na Raspberry, requer um cartão de memória micro SD limpo de tamanho mínimo de 4GB que será a memória de armazenamento em massa da máquina. A formatação em fat32 garante a leitura em qualquer hardware devido a compatibilidade do sistema de arquivos. Este procedimento é comum à todas as instalações disponíveis para a Raspberry.



Figura 45 – Cartão SD card com adaptador.

A formatação do SD Card foi realizada através do aplicativo SD format mostrado na figura 42 [26]. Seguem os procedimentos instalação dos softwares no cartão de memória. Instalou-se o sistema operacional Ubuntu Mint no cartão SD de acordo com as sugestões oferecidas pelo referido pacote Linux.

## B.1 Instalação utilizando arquivo ISO do Sistema Operacional Raspbian produzido pela Debian

Para iniciar esta instalação, é necessário um computador com acessório de leitor de micro SD. Para formatar o micro SD pode-se utilizar qualquer software como o SDFormat para Windows referido neste artigo anteriormente. O procedimento de gravação da

imagem ISO do Raspbian deve-se baixar o arquivo de imagem de cerca de 443 Mb no site do Debian, no endereço: <a href="http://downloads.raspberrypi.org/images/debian/6/debian6-19-04-2012/debian6-19-04-2012.zip">http://downloads.raspberrypi.org/images/debian/6/debian6-19-04-2012.zip</a> ou <a href="http://www.raspberrypi.org/downloads">http://www.raspberrypi.org/downloads</a> que é diretamente no site da placa Raspberry. De posse da imagem, uma ferramenta para extrair a imagem e gravar no micro SD é utilizada. Pode-se utilizar a ferramenta Win32-image-escritor. Na tela da ferramenta há opção de localizar a imagem do sistema operacional e qual device está localizado o cartão microSD. Este aplicativo grava a imagem no cartão com o comando Write e também cria uma imagem do cartão para um arquivo com o comando Read. No caso desta instalação é utilizado o comando Write para gravar o sistema operacional no cartão.

## B.2 Instalação utilizando arquivo ISO do Sistema Operacional UbuntuMate 16.04

Da mesma maneira que a instalação do Debian Raspbian procede-se com a formatação do cartão de memória micro SD. O endereço da distribuição Ubuntu é <a href="https://ubuntu-mate.org/raspberry-pi/">https://ubuntu-mate.org/raspberry-pi/</a> ou <a href="http://www.raspberrypi.org/downloads">http://www.raspberrypi.org/downloads</a> no site da placa Raspberry. Os processos de Instalação são semelhantes aos procedimentos do sistema operacinal Debian.

## B.3 Instalação utilizando o software NOOBS

Para baixar o NOOBS é necessário acessada na página oficial do Raspberry Pi para efetuar download, conforme figura 46.

Para instalação do programa NOOBS é necessário baixar o arquivo no endereço <a href="https://www.raspberrypi.org/downloads/noobs/">https://www.raspberrypi.org/downloads/noobs/</a>> escolhendo o arquivo completo ou apenas a imagem do sistema operacional, como foi realizado no primeiro teste. Em seguida o portal remete a uma página com opção de baixar o pacote completo para instalação em locais que não haja conexão com a internet ou a versão Lite para instalação com internet.

Após o download do arquivo compactado, este deve ser descompactado dentro do micro SD. Ao rodar pela primeira vez no slot do computador, o programa já se inicia mostrando uma tela seletora das instalações dos sistemas operacionais conforme figura 48. A instalação ocorre sequencialmente com os pacotes gravados em uma nova partição criada automaticamente pelo software NOOBS, até que ocorra a cópia de todas as ferramentas necessárias.

Após a instalação, é necessário que o administrador altere de imediato o usuário e senha de ROOT (superusuário) do Raspbian que por padrão é (pi) e (raspberry), respec-

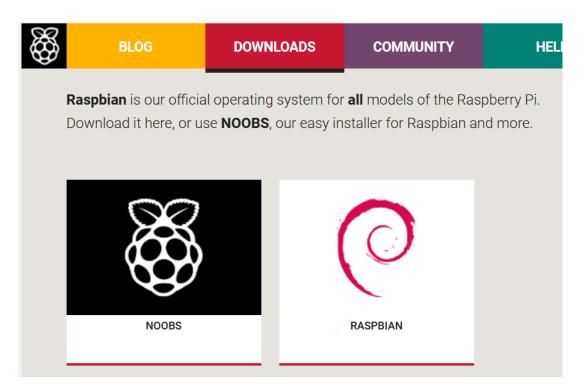


Figura 46 – Tela de seleção do NOOBS ou imagem do RASPBIAN

tivamente. Para modificar a senha do usuário root é necessário apenas utilizar o comando padrão do Linux (sudo passwd root) e fornecer a senha do usuário.

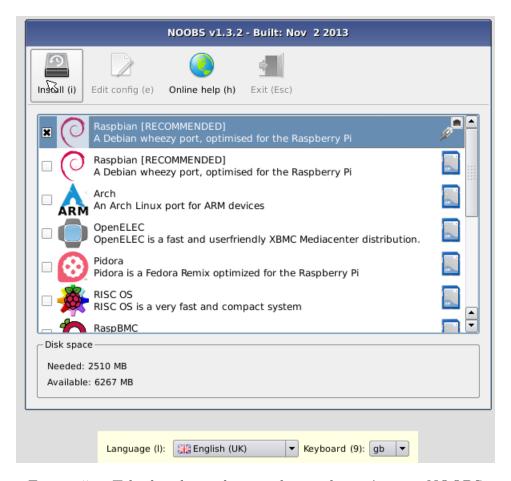


Figura 47 – Tela de seleção das instalações disponíveis no NOOBS

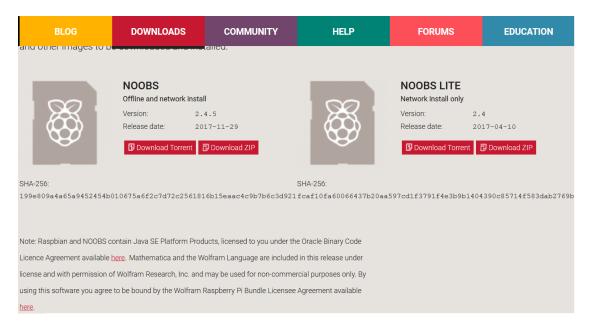


Figura 48 – Escolha da instalação completa off-line ou via rede

# ANEXO C – Netbook Utilizado no estudo de caso III.

O Netbook utilizado contém um processador Atom N270, de 1,60 Ghz de velocidade, 2048 Mb de memória RAM DDR2 266,66 Mhz, placa mãe ASUSTeK Computer INC modelo 1005HA (PBGA 437), chipset Intel i645GSE, placa gráfica Mobile Intel 945 Express Chipset Family 8086-27AE, um hard disk Seagate SATA-I 1,5Gb/s de 149 GB de capacidade, uma placa de rede sem fio Atheros AR9285 Wireless Network Adapter e uma interface ethernet Atheros AR8132 PCI-E Fast Ethernet Controller (NDIS6,20).



Figura 49 – Netbook utilizado neste experimento.

## Instalação do Sistema Oparacional e preparação do repositório do Perf-SONAR

Para instalar o sistema operacional no Netbook que já continha outro sistema operacional, foi necessário copiar o programa de instalação do CentOS no pendrive, acessar a unidade, executar o instalador, e assim efetuar a instalação no Hard Disk. No próximo boot, o CentOS já entra em funcionamento possibilitando assim iniciar a instalação dos pacotes do software PerfSONAR.

A configuração inicial das instalações é realizada através de um terminal, o qual indica a ferramenta de instalação e remoção de pacotes YUM (Yellowdog Updater, Modified), onde se obtém os arquivos de instalação. Para se configurar o Yum, devem-se inserir

### o seguintes comandos:

- yum install epel-release que é uma biblioteca auxiliar
- yum install <a href="http://software.internet2.edu/rpms/el7/x86-64/main/RPMS/">http://software.internet2.edu/rpms/el7/x86-64/main/RPMS/</a> perfSONAR-repo-0.8-1.noarch.rpm> para baixar e instalar o pacote principal
- yum clean all para limpar resíduos de instalação.

A partir de então cada pacote podem ser instalado com o comando yum install (nome-do-pacote).

# ANEXO D – Portas TCP utilizadas pelas ferramentas do PerfSPNAR.

Service Type	Service Name	Transport Protocol	Local Ports	Direction
	Web Server (Apache, esmond)	TCP	80 443	Incoming
Care	Time Server (NTP)	UDP	123	Outgoing Incoming*
	DNS	UDP	53	Outgoing
	Remote Access (SSH)	ТСР	22	Incoming Outgoing
	Primitive Tools	ICMP	N/A‡	Outgoing
Measurement Tools	(Ping, Traceroute, Tracepath)	TCP,UDP**	0	Incoming
	Traceroute	UDP	33434-33534	Incoming
	NPAD Control	20.73115	8000	Incoming
	NPAD Testing	TCP	8001-8020	Incoming Outgoing
	NDT Control		7123	Incoming
	NDT Testing	TCP	3001-3003	Incoming Outgoing
	OWAMP Control	TCP	861	Incoming
	OWAMP Testing	UDP	8760-9960**	Outgoing
	RWCTL Control	TCP	4823	Incoming
	BWCTL Peer	TCP, UDP	6001-6200#	Outgoing
	BWCTL Testing	TCP, UDP	5000-5900%	
Measurement Middleware	Lookup Service	TCP	8090 8096	Incoming Outgoing
	OPPD	TCP	8090	Incoming Outgoing
Directory Server	Lookup Service	TCP	61617	Incoming Outgoing
	Echo	TCP, UDP	7	Incoming Outgoing
	SNMP MA	TCP	8065 9990	Incoming
	Traceroute MA	TCP	8086	55
Historic (releases prior to perfSONAR 3.4)	Traceroute MA Measurement	ICMP TCP UDP	8087	Incoming Outgoing
	PingER MA	TCP		Incoming
	PingER Measurement	ICMP TCP UDP	8075	Outgoing
	perfSONAR-BUOY MA		8085	Incoming
	perfSONAR-BUOY Control	ТСР	8569 8570	Incoming Outgoing
	Lookup Service	TCP	8095 9995	Incoming Outgoing

Figura 50 – Relação de ortas TCP utilizadas pelo PerfSONAR