

Conduzindo pesquisas de rede em plataformas de grande escala: evitando armadilhas no PlanetLab

Marcelo Santos¹, Stênio Fernandes¹, Carlos Kamienski²

¹Centro de Informática– Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife, Brasil

²Centro de Matemática, Computação e Cognição – Universidade Federal do ABC
(UFABC)
Santo André, Brazil

{mabs, sflf}@cin.ufpe.br, cak@ufbac.edu.br

Abstract. *In the past, having access to different servers in different locations in the world to experimentation over Internet used to be a very hard task. This scenario has changed in recent years with the introduction of PlanetLab, a distributed laboratory spread in the five continents for developing experiments and measurements in a planetary scale. However, PlanetLab currently has some limitations that sometimes prevent researchers to perform reliable experiments. This paper presents a large-scale measurement study in PlanetLab aiming at shedding some light into the availability of resources for performing experimental research on it. Results show that there are high instability and heterogeneity of the available resources.*

Resumo. *No passado, ter acesso a diferentes servidores em diferentes locais do mundo para executar experimentos na Internet era uma tarefa difícil. Este cenário tem mudado nos últimos anos com a introdução do PlanetLab, um testbed distribuído nos cinco continentes para o desenvolvimento de experimentos e medições em escala planetária. No entanto, o PlanetLab possui algumas limitações que impedem pesquisadores de realizar experimentos confiáveis. Este trabalho apresenta um estudo de medição em larga escala no PlanetLab, visando esclarecer aspectos sobre a sua disponibilidade de recursos. Os resultados mostram que há um alto grau de instabilidade e grande disparidade nos recursos disponíveis.*

1. Introdução

Pesquisas em redes de computadores dependem de modelos analíticos, simulação e experimentos em redes reais ou testbeds. Experimentos em redes reais é geralmente uma boa escolha, mas algumas vezes não são viáveis devido a custos e questões de implantação. No entanto, reproduzir o comportamento de várias camadas da pilha de protocolos da Internet em um ambiente controlado permite que pesquisadores tenham um profundo entendimento das sutilezas dos sistemas que executam na Internet e seus protocolos. Para este fim, diversas redes de experimentação como Senslab [Seslab Oficial Site (2013)], ORBIT [Raychaudhuri, D., et al. (2005)], StartBED [StarBED Oficial Site (2013)], e PlanetLab têm sido fortemente usados pela comunidade científica nos últimos anos.

Particularmente o PlanetLab (PL) é uma das plataformas mais populares dentro da comunidade acadêmica devido ao fato de ser um ambiente colaborativo de larga

escala, no qual instituições compõem parte da infraestrutura hospedando no mínimo duas máquinas físicas (nós) para serem usadas por todos os usuários. O PlanetLab já está disponível há quase 10 anos e surgiu com apenas 100 máquinas distribuídas por 40 universidades ao redor do mundo [Tang, L. et al. (2007)]. Atualmente o PL possui 1165 nós espalhados por 549 universidades e instituições de pesquisa.

Embora o PL tenha sido adotado pela comunidade como uma plataforma confiável para experimentos de larga escala na Internet, há muitas questões a serem respondidas antes de considerar se a solução oferecida pelo PL é adequada para um experimento e se as métricas envolvidas representam o comportamento da Internet. Alguns problemas e limitações devem ser levados em consideração antes de iniciar um experimento. Por exemplo, em um mesmo nó, não há isolamento total de recursos de hardware entre diferentes máquinas virtuais, com exceção do espaço de armazenamento em disco e do tráfego de rede (não há reserva de banda). Além disso, é comum observar uma larga porção de nós que não estão disponíveis ou são instáveis, ou seja, ficam ativos por um curto intervalo de tempo.

Desta forma, a instabilidade observada nos nós e máquinas virtuais (VMs) podem ter um significativo impacto no desempenho geral, precisão e confiabilidade nos resultados de experimentos. Neste artigo, nós focamos em prover uma visão do desempenho do PlanetLab a respeito da sua capacidade, utilização e disponibilidade de recursos. A confiabilidade do PlanetLab é avaliada através da observação de métricas de desempenho pontuais a fim de obter uma visão clara dos seus problemas, limitações e desafios. Pesquisadores podem também utilizar a metodologia adotada para avaliar outras redes experimentais de larga-escala.

Os resultados mostram informações que evidenciam diversos pontos de limitação do PlanetLab. Por exemplo, uma vez que o gerenciamento dos nós é descentralizado (cada instituição é responsável pelas suas máquinas), encontramos uma alta taxa de nós inacessíveis, além disso, o tempo em que as máquinas ficam disponíveis de forma ininterrupta é relativamente baixo. Dos mais 1000 nós disponíveis, apenas aproximadamente 50% estavam acessíveis durante os 20 dias de experimentos.

O restante do artigo está da seguinte maneira: Seção 2 descreve os trabalhos relacionados, enquanto na Seção 3 há uma breve discussão sobre o PlanetLab e seu funcionamento. Na Seção 4 é descrita a metodologia adota neste trabalho, considerando que na Seção 5 são descritos os resultados de nossos experimentos. A Seção 6 discute os resultados obtidos e lições aprendidas. Finalmente, a Seção 7 conclui o artigo e fornece alguns direcionamentos para trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Duarte, J., et al. (2010) analisam a estabilidade dos nós do PL através da variação do seu RTT, mostrando grande disparidade entre um grande conjunto de nós. No entanto, é apresentada uma visão limitada por utilizar apenas o RTT como única métrica, não havendo uma extensão maior de avaliação.

CoMon [Park K., et al. (2006)] é um sistema de monitoramento para o PlanetLab que foi inspirado no projeto CoDeeN [Wang L., et al. (2004)]. CoMon fornece estatísticas de monitoramento para o PlanetLab, possuindo ainda suporte para a busca de nós a partir de consultas baseadas em critérios fornecidos pelo usuário. As métricas

exibidas pelo sistema são interessantes, no entanto, o trabalho foca em descrever o funcionamento do CoMon e não apresenta uma visão geral do PlanetLab, não apresentando dados agrupados a longo prazo.

SWORD [Oppenheimer D., et al. (2004)] é um serviço de descoberta de recursos descentralizado, projetado para realizar consultas sob um grande conjunto de medições do Planetlab, fornecendo informações para o usuário do PlanetLab decidir quais nós são os mais aptos para criar instâncias de máquinas virtuais. No entanto, o trabalho não realiza análises agregadas sobre o estado do PlanetLab. O foco do artigo é discutir e propor uma estratégia adequada para monitoramento de máquinas distribuídas. Cabe ressaltar que não foi possível testar o funcionamento do Sword, pois o site para realização das consultas não esteve funcionando durante a realização deste artigo.

Finalmente, Kim, W., et al. (2011) fornecem um amplo estudo sobre o PlanetLab. No entanto, os autores se concentraram em exibir métricas do comportamento dos usuários na utilização de recursos dos nós. Diferentemente, neste artigo, vamos mostrar uma visão detalhada da capacidade e confiabilidade das máquinas do PL não discutida por Kim em seu artigo. Outra importante diferença dos resultados mostrados por Kim, é que este artigo analisa a utilização de recursos em momentos de pico e não médias com alta granularidade (meses e anos), evidenciando estados de instabilidade dos nós do PL, mesmo que esses estados sejam de curta duração.

Este artigo fornece conhecimentos complementares em relação aos outros estudos citados anteriormente. Nós fornecemos uma visão relevante da capacidade de recursos e desempenho de nós no PL, ao mesmo tempo, revelando uma visão mais detalhada de armadilhas e problemas que ocorrem no PlanetLab. De acordo com o levantamento bibliográfico realizado pelos autores, tal visão ainda não foi explorada em outros trabalhos.

3. PlanetLab: Funcionamento e arquitetura

O PlanetLab consiste em uma infraestrutura sobre a Internet que disponibiliza uma plataforma de experimentação formada por 1165 máquinas espalhadas por mais de 5 continentes através de um consórcio de instituições de pesquisa que virtualiza recursos para cada usuário. O seu objetivo básico é oferecer uma plataforma geograficamente distribuída para experimentos acadêmicos em escala planetária. Além disso, serviços de distribuição de conteúdo¹ e DNS², por exemplo, executam sobre o PlanetLab e podem ser utilizados por outros usuários.

3.1. Entrada de uma instituição na rede PlanetLab

Instituições que desejem ingressar na rede do PlanetLab devem se registrar, fornecendo informações de geolocalidade, endereço e nome [PlanetLab Oficial site (2013)].

Após a etapa de registro há a necessidade de disponibilização de ao menos duas máquinas com a configuração recomendada da Tabela 1.

¹ CORAL - <http://www.coralcdn.org/>

² <http://codeen.cs.princeton.edu/>

**Tabela 1 - Configurações recomendadas de um novo nó do PlanetLab
[PlanetLab Hardware (2013)]**

PCU	Built-in, remote-access power-reset capability, accessible from PLC, such as IntelAMT, HPiLO, DellRAC, IPMIv2, etc.
CPU	6x Intel Xeon E5 cores @ 2.2Ghz (or equivalent/higher)
RAM	24 GB
Disk	2 TB

Além das exigências de hardware, as máquinas devem possuir um IP fixo configuradas com DNS, não podem estar atrás de um firewall e devem executar o sistema operacional Fedora instalado através do PlanetLab CD. Com as constantes mudanças de requisitos no tempo, há diferentes capacidades de hardware e softwares espalhados na rede do PlanetLab.

3.2. Arquitetura

O Planetlab é organizado como um consórcio acadêmico, industrial e governamental sem fins lucrativos podendo sua arquitetura ser dividida em três pilares básicos: Instituições, usuários e PlanetLab Consortium que provê serviços de autenticação e monitoramento através de um servidor centralizado conhecido por PlanetLab Central (PLC). Uma instituição (site) é a organização que oferece máquinas (*nós*) de sua propriedade para uso coletivo dos usuários do PlanetLab, sendo responsável pela administração física de suas máquinas.

O PlanetLab Consortium funciona como um intermediário confiável, eliminando a necessidade de acordo prévio entre usuários e instituições (sites) durante a ação de criação de uma instância de máquina virtual (*sliver*). O usuário realiza inicialmente uma requisição para o PLC que solicita ao nó a criação de um *sliver* (Figura 1).

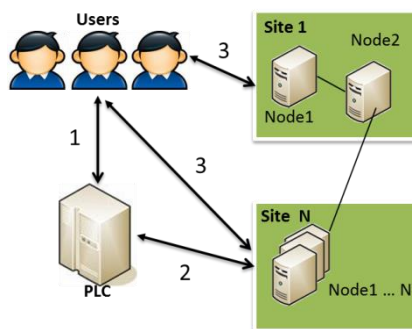


Figura 1- Pedido de criação de uma máquina virtual

Já o termo *Slice* é uma concessão, para criação de VMs, dada para um usuário pela Instituição que o usuário está vinculado. Um *slice* é caracterizado por um nome único em toda rede do PlanetLab, após a vinculação do *slice* ao usuário, este poderá instanciar uma máquina virtual em qualquer nó da rede do PlanetLab. Caso um usuário queira ter duas máquinas virtuais num mesmo nó, o usuário precisará solicitar à sua instituição um novo *slice*.

3.3. Limitações e desafios

O PlanetLab é muito importante como testbed acadêmico. No entanto, há limitações que são descobertas apenas durante sua utilização, prejudicando os experimentos realizados ou serviços que são disponibilizados. Entre problemas encontrados e limitações da própria arquitetura podemos citar:

- Inconstância das máquinas (nós): Instituições independentes são encarregadas de gerenciar fisicamente seus nós. Devido a falhas de gerenciamento, ocorre de não se ter um grande conjunto de máquinas disponíveis, tanto em grandes ou curtos intervalos de tempo, podendo isto ser prejudicial aos experimentos em execução.
- Falta de isolamento CPU e memória RAM: Devido ao *hypervisor* utilizado para realizar a virtualização [VServer Oficial site (2013)], não ocorre o isolamento de utilização de CPU e memória RAM, fazendo com que um usuário que acabou de criar uma máquina virtual possa, por exemplo, não ter memória RAM suficiente para executar um dado processo.
- Incapacidade de replicação de um mesmo cenário: Devido à instabilidade das máquinas, variação de carga de utilização da rede e recursos de hardware é praticamente impossível replicar exatamente um mesmo cenário de experimentação.
- Heterogeneidade de versões de softwares: Diferentes nós possuem diferentes versões de uma mesma distribuição de um sistema operacional. Isso se deve a não atualização do sistema operacional fornecido pelo PlanetLab através do PlanetLab CD (as instituições que compõem o PL são as responsáveis pela atualização).
- Punição por uso excessivo de recursos: Mesmo sem haver isolamento de memória e CPU entre máquinas virtuais pertencentes a um mesmo nó, alguns sites possuem regras para punir os usuários que utilizam determinada quantidade de recursos. Por exemplo, um nó com 2GB de memória RAM pode ter uma regra que limita 20% de utilização por usuário. Ou seja, no total, uma máquina virtual pode utilizar apenas 400MB para executar todos seus processos. Em caso de violação a máquina virtual pode ser removida impossibilitando o usuário de acessá-la.
- Portas disponíveis: Embora haja isolamento do tráfego entre as máquinas virtuais de um mesmo nó, não há a possibilidade de compartilhamento de portas. Um usuário que instala em sua VM um servidor Web na porta 80 impossibilita qualquer outro usuário deste nó de utilizar a mesma porta devido ao esquema de virtualização que se baseia em um único IP para todos os usuários do nó.
- Localização: Não existe uma visão clara da distribuição dos nós do PL. Por exemplo, um conjunto de máquinas pode ser executado dentro da mesma instituição e, portanto, em uma rede local, em vez de distribuídos na Internet.

4. Metodologia

A estratégia de monitoramento utilizada para as medições pode ser desmembrada em dois níveis. O primeiro nível foi executado num servidor fora da rede do PlanetLab. Foi desenvolvido um coletor automatizado de informações (Collector PLC) que se conecta ao PLC por meio de uma interface XML-RPC [PlanetLab API (2013)] (Figura 2). Este coletor ficou executando durante 20 dias contínuos no ano de 2012. Cabe ressaltar que o PLC dá informações do registro de sites e nós desde 2004 (surgimento do PlanetLab). As informações obtidas pelo PLC são agrupadas nas seguintes categorias:

- Sites: Informações de criação do site, posição geográfica, número máximo de slivers (instâncias de máquinas virtuais), URL, número máximo de slices por site e IDs dos nós vinculados.
- Nós: Informações dos slices ativos no nó, versão do PlanetLab CD, ID do site que o nó está vinculado e identificador do nó.

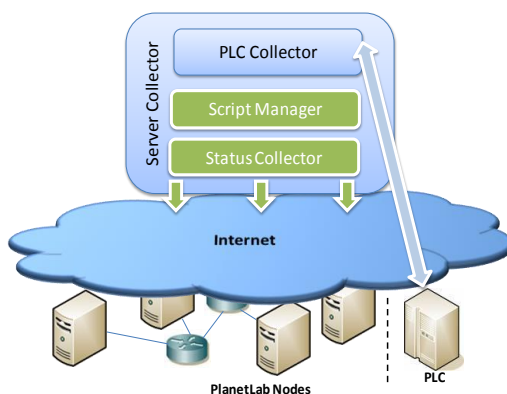


Figura 2 – Módulos do Coletor

Além do *crawler* que se conecta ao PLC, houve a necessidade de executar dois scripts em paralelo do lado servidor:

- StatusCollector.sh: Responsável por verificar se um nó está disponível para acesso. Neste caso o teste foi baseado numa tentativa de conexão ssh verificando o estado atual do nó em questão.
- ScriptManager.sh: Caso o StatusCollector.sh detecte que o nó está ativo, é realizada a configuração para execução dos scripts de coleta local no PlanetLab copiando os arquivos necessários para cada nó.

Já o segundo nível de coleta ocorreu diretamente nas máquinas do PlanetLab após a transferência dos scripts do servidor para os nós do PlanetLab. Três scripts rodaram de maneira concorrente:

- Monitor.sh: Coleta a carga de utilização de memória RAM e CPU, dado que este recurso é compartilhado por todos usuários do nó, é gerado um log em cada um dos nós ativos.
- Ping.sh: Foram realizadas requisições de *ping* de um nó para todos os outros nós a partir de uma lista de *hosts* da rede do PlanetLab seguindo uma ordem inicial

aleatória. Foram disparados 100 *pings* para cada host, gerando uma média de RTT em cada tentativa.

- Copy.sh: Comprime e envia periodicamente os logs gerados pelo Monitor.sh e Ping.sh de cada nó para o servidor. Além disso, envia as características de capacidade de cada nó na primeira interação com o servidor.

Embora o PlanetLab tenha atualmente 1165 nós, no período em que o experimento foi realizado (ano de 2012), a interface do PlanetLab exibia apenas 1016 nós, estando muitos destes inacessíveis.

5. Resultados

5.1. Sites e Nós

Na Figura 3 vemos a evolução do número de nós e sites. Com os dados obtidos constatou-se que houve um crescimento de mais de 100% do número de nós e sites desde 2004 até Fevereiro de 2013. Deve-se destacar que à medida que cresce o número de sites, o número de nós não cresce de forma abrupta, indicando que as instituições ao ingressarem no Planetlab, em geral, não disponibilizam uma quantidade de máquinas maior do que o mínimo exigido.

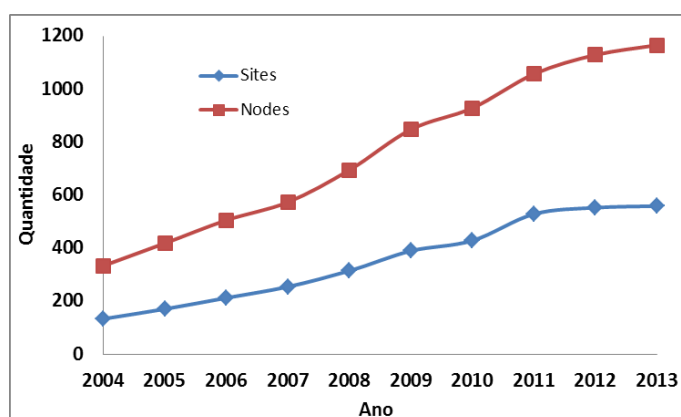


Figura 3 - Evolução do número de sites e nós

O número de nós por site (Figura 4) mostra que 18% dos sites disponíveis não possui a exigência mínima de 2 nós para integração na rede do PlanetLab.

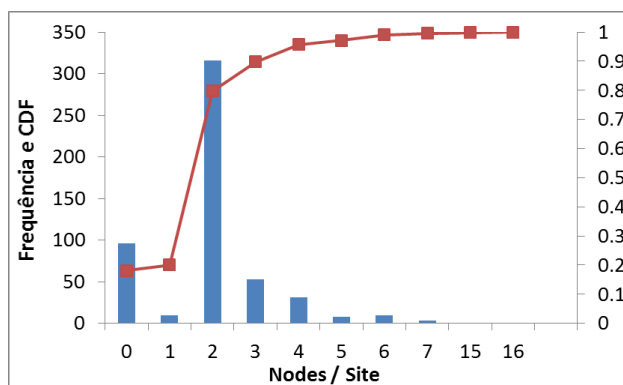


Figura 4 – Número de nós por site

Isso se deve a problemas enfrentados pelas instituições mantenedoras, causados principalmente por problemas físicos e falta de manutenção periódica. Cerca de 64% dos sites possuem apenas 2 nós. Cabe ressaltar que apenas um site possui 15 nós e outro 16. Os experimentos que utilizam um conjunto de nós de um mesmo site podem ter seus resultados mascarados por estarem todos praticamente numa rede local e consequentemente não distribuídos pela Internet.

A Figura 5 mostra a confiabilidade das máquinas do PlanetLab baseado na métrica de *uptime*. Utilizando o maior tempo de uptime coletado de cada nó, vemos que 17% dos nós não passaram mais que 15 dias consecutivos ligados de forma intermitente. Experimentos que necessitam de um grande número de máquinas por longos períodos de tempo, provavelmente vão enfrentar algum período de falha em algum nó.

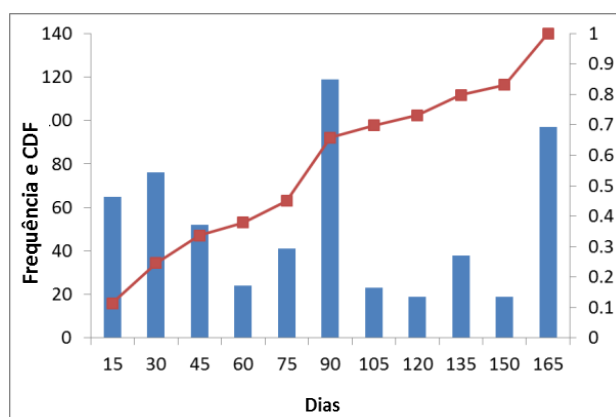


Figura 5 – Confiabilidade dos nós baseado no tempo de uptime

Das 1016 máquinas disponíveis no PlanetLab, durante o estudo realizado no ano de 2012, conseguiu-se acesso a apenas 548 máquinas, correspondendo a menos que 55% do número total de *nós*. Os principais erros ocorridos variaram entre falha na resolução do nome do nó, *time out* da conexão, negação de permissão de acesso entre outras exceções geradas pelo hypervisor.

A Tabela 2 sumariza as principais versões do PlanetLab CD em execução em cada *nó*. Cada versão do Planet CD contém atualizações que vão de simples pacotes até atualizações do sistema operacional. Considerando que em algumas situações a heterogeneidade é bem-vinda (ex: em termos de distribuição geográfica), neste caso é um ponto negativo para os usuários do PL. Um usuário pode não conseguir executar a mesma aplicação em diferentes nós devido à falta de consistência de atualização entre os nós.

Tabela 2 - Versões do planetLab CD

Versões do planetLab CD	Quantidade
PlanetLab BootCD v2.0	65
PlanetLab BootCD v2.0.3	7
PlanetLab BootCD 3.0	1
PlanetLab BootCD 3.0-beta0.4	1
PlanetLab BootCD 3.0-beta0.5	3
PlanetLab BootCD 3.1	39
PlanetLab-BootCD-3.3	153
PlanetLabEurope-BootCD-4.2	29
PlanetLab BootCD 4.2	306

PlanetLabEurope-BootCD-5.0	120
PlanetLab-BootCD-5.0	37
Desconhecidos	255

Foram identificados 468 nós inacessíveis, ou seja, nós que nunca obtiveram sequer uma conexão estabelecida com sucesso durante os dias de monitoração. Dentre os erros apresentados ao tentar se conectar a estes nós obtivemos as seguintes variações descritas na Tabela 3:

Tabela 3 – Tipos de erros durante tentativas de conexão a um nó

Tipo do Erro	Quantidade
Could not resolve hostname : Temporary failure in name resolution	5
connect to host port 22: Connection refused	19
vserver ... suexec' is supported for running vservers only; aborting...	33
connect to host port 22: No route to host	22
connect to host port 22: Connection timed out	259
connect to host port 22: Network is unreachable	9
Could not resolve hostname : Name or service not known	72
Permission denied (publickey).	25
Permission denied, please try again.	9
Permission denied (publickey,keyboard-interactive).	15

Para termos uma ideia de concentração geográfica de nós, foi realizado também um levantamento de como os nós estão distribuídos por país. Esta informação é relevante quando se deseja avaliar uma aplicação sobre a Internet, pois a distribuição geográfica dos nós pode implicar em taxas de atraso de propagação menores quando há estes estão em regiões próximas.

A Tabela 4 mostra que os Estados Unidos possuem 37%, da quantidade de nós disponíveis do PlanetLab, enquanto o segundo lugar fica com a Alemanha com apenas 6% dos nós. Foram encontrados 27 países com 2 nós cada, onde 7 deles são mostrados na Tabela 4. No Brasil foram estimados 19 nós, embora isso não signifique que há 19 nós ativos. No total foram identificados 51 países.

Tabela 4 – Concentração de nós por país (ativos e inativos)

País com mais nós		Países com menos nós	
EUA	376	México	2
Alemanha	61	Paquistão	2
Polônia	46	Romênia	2
Canadá	41	Sri Lanka	2
Japão	39	Tailândia	2
China	34	Tunísia	2
França	32	Venezuela	2

5.2.CPU

Podemos ver na Tabela 5 que cerca de 86% das máquinas ativas no PlanetLab tem 4 núcleos ou menos. Como não há isolamento na utilização de CPU entre as instâncias de

máquinas virtuais, processos que rodam em paralelo numa máquina com poucos núcleos podem ter seu desempenho prejudicado quando houver muitos processos em execução. Além disso, a média do Clock é 2624,256 Mhz.

Tabela 5 – Resumo de cores por nó

Número de cores	Frequência (Nós)	Frequência relativa	Clock médio (Mhz)
1	30	5,474453	2354,493
2	253	46,16788	2726,376
4	189	34,48905	2586,235
8	42	7,664234	2455,726
12	1	0,182482	2666,746
16	13	2,372263	2233,458
24	4	0,729927	2593,639
Desconhecido	16	2,919708	----
Total	548	100%	2624,256

Além do número de núcleos, outra métrica importante é a velocidade de processamento de cada núcleo. Na Figura 6 vemos que apenas 5% dos nós possuem uma velocidade igual ou menor que 2 GHz.

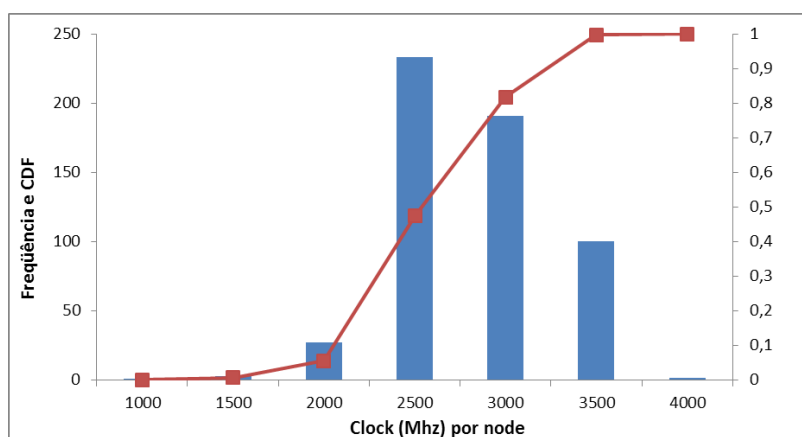


Figura 6 – Clock por nó

Durante o tempo de coleta, foi observado momentos de picos de utilização de CPU em determinados nós. No entanto, 85% dos nós não alcançaram mais que 50% do uso de todos seus núcleos. Assim, temos indícios que processamento não é hoje uma limitação latente do PL.

5.3. Memória RAM

Considerando a capacidade, vemos na Figura 7 que 86% dos nós possuem no máximo 4GB de memória RAM. Como a memória é compartilhada entre todos *slivers* de um nó e não há reserva para cada usuário, temos um potencial ponto de limitação.

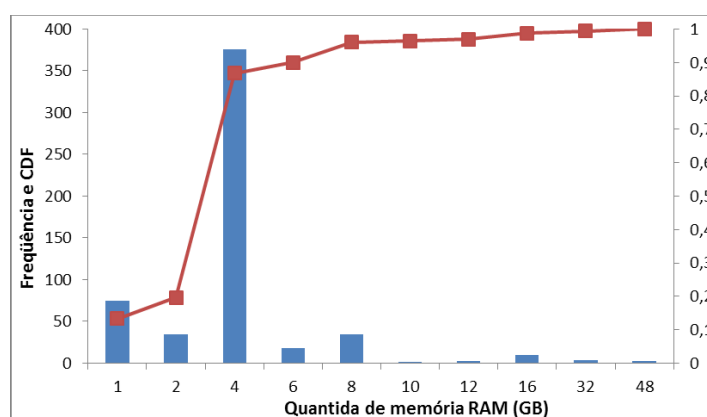


Figura 7 – Capacidade de memória RAM por nó

Destacando os nós do PlanetLab que possuem maior capacidade em relação a sua memória RAM, vemos que os 3 maiores se encontram em Princeton (EUA) com 48 GB de RAM, apresentando uma grande contraste em relação a maioria dos outros nós. Foram detectados 75 nós com apenas 1GB de RAM. A Tabela 6 exibe um breve resumo das 10 maiores e menores capacidades de memória RAM dentre os nós do PL.

Tabela 6 – Os 10 nós com mais e menos memória RAM no PlanetLab

Nome do nó	Memória RAM (GB)	Nome do nó	Memória RAM (GB)
planetlab-03.cs.princeton.edu	48	planetlab2.cs.uoi.gr	1
planetlab-02.cs.princeton.edu	48	planetlab1.cs.uoi.gr	1
planetlab-04.cs.princeton.edu	48	planetlab-nó1.it-sudparis.eu	1
onelab3.info.ucl.ac.be	32	planetlab-2.imperial.ac.uk	1
rochefort.infonet.fundp.ac.be	32	gschembra3.diit.unict.it	1
chimay.infonet.fundp.ac.be	32	gschembra4.diit.unict.it	1
orval.infonet.fundp.ac.be	32	planetlab-1.imperial.ac.uk	1
aladdin.planetlab.extranet.uni-passau.de	16	plane-lab-pb1.uni-paderborn.de	1
planetlab1.cti.espol.edu.ec	16	planetlab1.fit.vutbr.cz	1
planetlab2.cti.espol.edu.ec	16	planetlab1.lkn.ei.tum.de	1

Do acordo com a utilização dinâmica da memória RAM foram analisados os valores mínimos que cada nó alcançou em termos de disponibilidade. Os dados mostram que este aspecto pode ser um potencial ponto de limitação (Figura 8). Cerca de 11% de todos os nós passaram por pelo menos um período de tempo em que havia no máximo 100MB livres de memória RAM para todos os processos em execução de todos os usuários. Foram identificados máquinas com 21 MB de memória livre. O usuário que realiza experimentos nesta máquina, provavelmente enfrentará problemas ao executar algum processo.

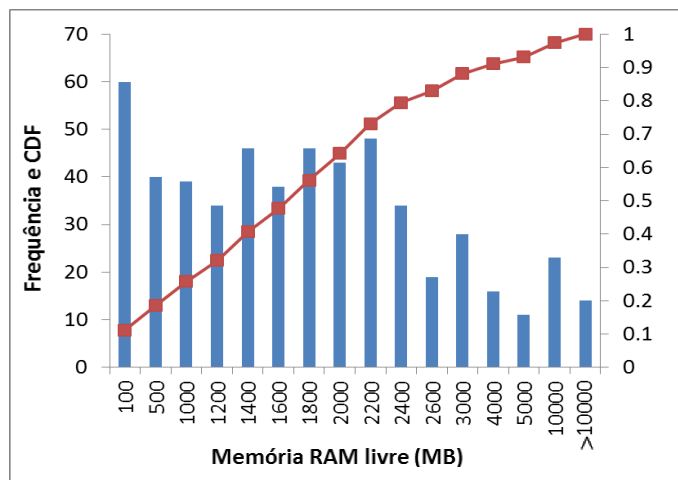


Figura 8 – Quantidade mínima de memória RAM por nó

5.4. RTT

A Figura 9 mostra o tempo médio de RTT entre todos os nós ativos durante o experimento no Planetlab (formando uma matriz 548x548). Vemos que 72% dos nós possuem o tempo de RTT menor ou igual a 200ms entre si, assemelhando-se aos resultados obtidos por Tang, L. et al. (2007).

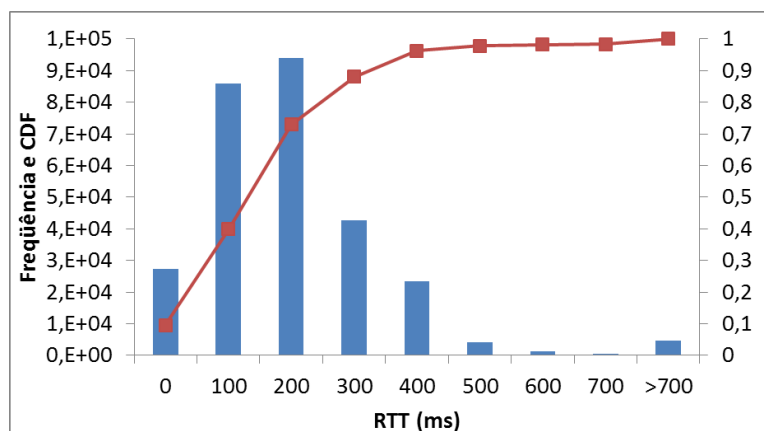


Figura 9 – RTT entre nós do PlanetLab

No entanto, há 2.5% de nós que apresentam grandes problemas de instabilidade com tempo de RTT que passam de 500 ms, dificultando a escolha de bons nós [Spring N. (2006)]. Além disso, somente 42% dos nós possuem RTT menor que 100ms entre eles.

6. Discussão

O PlanetLab fornece um testbed distribuído em escala global para fins de pesquisa, tornando possível a realização de experimentos em larga escala na Internet. A análise realizada aborda métricas que interessam diretamente os usuários que utilizam o PlanetLab, pois a partir delas é possível definir se as características do PL são fatores limitantes para executar um determinado experimento. Supreende, por exemplo, que

máquinas com capacidade de apenas 1GB de memória RAM estejam disponíveis quando a recomendação atual do PlanetLab é de 24 GB.

Devido à natureza distribuída da gestão da infra-estrutura física que é delegada às instituições participantes, descobrimos uma alta taxa de falhas nos nós. De todos os nós do PlanetLab, fomos capazes de acessar apenas 548 durante o período de 20 dias de nossos experimentos. Além disso, desses 548, 138 (25%) não estiveram online de forma ininterrupta por mais de um mês (de acordo com o tempo de uptime do nó). Isto revela uma das dificuldades quando se trata de executar um experimento em um ambiente real e distribuído por um longo período de tempo.

Quanto à homogeneidade dos nós acessíveis, descobrimos que uma boa parte deles não são atualizados regularmente, criando uma rede com vários nós que possuem versões diferentes do CD PlanetLab. Além disso, o PlanetLab atualiza constantemente os requisitos mínimos de hardware, mas não necessariamente as instituições responsáveis por seus sites atualizam seus nós para atendê-los. O resultado é que as configurações dos nós são muito heterogêneas e muitas delas obsoleta. Dependendo do tipo de experimento, o aspecto da heterogeneidade pode ser positivo, pois simula melhor um ambiente de máquinas reais na Internet de forma geral.

A análise do pico de consumo de memória pode ser útil para entender a demanda versus a disponibilidade de recursos no PlanetLab. Descobrimos que cerca de 10% dos nós tiveram em determinado momento de nossa coleta, menos de 100 MB de memória RAM disponível. Uma vez que não há isolamento para a utilização adequada de memória RAM, este pode vir a ser um sério problema.

Para que houvesse menos falhas nos nós do PlanetLab poderia ser aplicada uma política mais rígida de exclusão de nós que apresentassem baixos índices de disponibilidade e grande número de falhas. Desta forma, poderíamos ter uma menor quantidade de nós, mas uma maior qualidade em relação à estabilidade de todo PL. No entanto, esta rígida política pode ser considerado ingênua, pois todas as instituições que formam o PL o fazem voluntariamente e, por vezes, não têm os recursos necessários para gerenciar seus nós. Além disso, poderia ser discutida a utilização de outro *hypervisor* com o incremento de reserva dinâmica de memória RAM [Schopp J. H et al. (2006)], evitando que um só usuário consuma todo o recurso disponível, mas tendo ainda um comportamento elástico para cada usuário.

Por fim, no site do PlanetLab poderia haver maiores detalhes sobre os seus nós como localização, *uptime* e recursos disponíveis, auxiliando seus usuários a escolher melhor os nós de acordo com o objetivo de seu experimento.

7. Conclusão

Neste trabalho, nós apresentamos e analisamos a infraestrutura do PlanetLab, com foco na capacidade de recursos de hardware e disponibilidade de sua infraestrutura, apontando limitações e os desafios encontrados. É importante que exista o máximo de informações sobre um *testbed*, para que pesquisadores possam decidir com antecedência como escolher as melhores configurações e fazer um melhor uso dos recursos disponíveis.

Os resultados mostram um grau elevado de heterogeneidade de hardware entre os nós. Ao contrário da maioria de trabalhos anteriores que analisam o PlanetLab, foram

identificados pontos de limitação em relação à capacidade e disponibilidade de memória RAM, tempo de *uptime* e acessibilidade para um conjunto significativo de nós. Por outro lado, a utilização da CPU está dentro de limites aceitáveis, como relatado por trabalhos anteriores.

Como trabalho futuro pretende-se coletar dados através de um maior período de tempo a fim de derivar modelos analíticos de métricas-chave de desempenho que podem ser utilizadas, entre outras possibilidades, para o planejamento de futuros experimentos.

References

Duarte, E. P., Garrett, T., Bona, L. C., Carmo, R., & Zuge, A. P. (2010). "Finding stable cliques of PlanetLab nodes". In Dependable Systems and Networks (DSN), 2010 IEEE/IFIP International Conference on (pp. 317-322).

Kim, W., Roopakalu, A., Li, K. Y., & Pai, V. S. (2011). "Understanding and characterizing PlanetLab resource usage for federated network testbeds". ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference (pp. 515-532).

Oppenheimer D., Albrecht J., Patterson D., and Vahdat A. (2004) "Distributed resource discovery on PlanetLab with SWORD". In First WORDLS.

Park K. and Pai V. S. (2006) "CoMon: A Mostly-Scalable Monitoring System for PlanetLab," ACM Operating Systems Review (OSR), Vol. 40, Num. 1.

PlanetLab API (2013) - http://www.planet-lab.org/doc/plc_api

PlanetLab Oficial site (2013) - <http://www.planet-lab.org/hosting>

PlanetLab Hardware (2013) - <http://www.planet-lab.org/hardware>

Raychaudhuri, D., Seskar, I., Ott, M., Ganu, S., Ramachandran, K., Kremo, H., & Singh, M. (2005). "Overview of the ORBIT radio grid testbed for evaluation of next-generation wireless network protocols". In WCNC, IEEE (Vol. 3, pp. 1664-1669).

StarBED Oficial Site (2013) - <http://www.starbed.org/>

Seslab Oficial Site (2013) - <http://www.senslab.info/>

Schopp J. H., Fraser K., Silbermann, M. J. (2006). "Resizing memory with balloons and hotplug", Linux Symposium. Vol. 2.

Spring, N., Peterson, L., Bavier, A., & Pai, V. (2006). "Using PlanetLab for network research: myths, realities, and best practices". ACM SIGOPS Operating Systems Review, 40(1), 17-24.

Tang, L., Chen, Y., Li, F., Zhang, H., and Li, J. (2007). "Empirical study on the evolution of planetlab". ICN'07, page 64, Los Alamitos, CA, EUA.

VServer Oficial site (2013) - <http://linux-vserver.org>

Wang L., Park K., Pang R., Pai V., and Peterson L. (2004) "Reliability and security in the CoDeeN content distribution network". In Proceedings of the USENIX Annual Technical Conference.