

# Análise de Campo do Acesso Web Por Meio de Uma Estrutura IP em Pilha Dupla

Deivis F. Pirani e Marcelo L. F. Abbade

**Resumo**—Este trabalho apresenta um estudo de campo sobre a comparação entre as utilizações do protocolo IPv4 e do IP em pilha dupla no acesso a páginas *web*. Para realizar tal análise, desenvolveu-se um conjunto de ferramentas capazes de coletar informações sobre o conteúdo e o desempenho destas páginas. Os resultados, relativos a mais de 19.000 acessos aos cinco portais de conteúdo mais visitados no Brasil, indicaram que, no pior caso, a utilização da pilha dupla causou um aumento de 32% no tempo médio de carregamento.

**Palavras-Chave**—IPv6, Pilha Dupla, HTTP, Acesso Web, Happy Eyeballs, Análise de Campo, Usuário Final.

**Abstract**—This work presents a field-trial investigation comparing the performances of IPv4 protocol and IPv4/IPv6 dual-stack approach to access webpages. To perform this analysis, it was developed a set of software tools to collect information concerning both the content and the performance of such webpages. Results related to more than 19,000 accesses over the five most visited news portals in Brazil indicated that, in the worst case, dual-stack led to an average increase of 32% in website loading time.

**Keywords**—IPv6, Dual Stack, HTTP, Web Access, Happy Eyeballs, Field-trial, End User.

## I. INTRODUÇÃO

O esgotamento do espaço de endereçamento do Protocolo Internet Versão 4 (*Internet Protocol Version 4*, IPv4) [1, 2] tem se tornado uma preocupação cada vez maior para provedores de acesso, provedores de conteúdo e também para a comunidade de pesquisa. Acontecimentos como a alocação do último bloco IPv4 do *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA), em fevereiro de 2011, o fim das alocações IPv4 anunciado pelo Centro de Informação de Rede da Ásia-Pacífico (*Asia Pacific Network Information Centre*, AP-NIC), em abril de 2011, e as previsões de esgotamento dos blocos IPv4 anunciadas por outros registros regionais da Internet (*Regional Internet Registry*, RIR) tem impulsionado a adoção do novo protocolo da Internet. O Protocolo Internet Versão 6 (*Internet Protocol Version 6*, IPv6), dentre características como suporte a mobilidade e auto-configuração de endereços, possui um espaço de endereçamento de 128 *bits*, que resolve o problema do esgotamento dos endereços IP na Internet [3]. Com um novo protocolo em fase de implantação, em um ambiente complexo e com uma infraestrutura tão grande como a da Internet, é natural o aparecimento de questões relacionadas à estabilidade e ao desempenho. Desta forma, pesquisas acerca da Internet IPv6, principalmente aquelas que fazem uso das análises de campo, são de grande importância para indicar o seu estado de amadurecimento e, principalmente, se ela possui qualidade de produção para atender aos usuários.

Atualmente, um dos serviços mais utilizados na Internet é a navegação *web*. Um estudo feito em 2009 [4], no maior provedor de acesso à Internet da Europa, mostrou que 57,6% do tráfego dos usuários residenciais acontecia sobre o Protocolo de Transferência de Hiper Texto (*Hyper Text Transfer Protocol*, HTTP). No mesmo sentido, mas analisando o tráfego de roteadores de borda de 110 provedores de acesso à Internet e de provedores de conteúdo, espalhados nas Américas, Ásia e Europa, os resultados em [5] mostraram que o tráfego HTTP correspondia a 52% do total analisado, em 2009. Dada a relevância da *web*, e por se tratar de uma enorme fonte origem de tráfego IP, diversas pesquisas sobre o IPv6 são desenvolvidas utilizando o HTTP. Um estudo feito em [6], utilizou servidores *web* como fonte de dados e mostrou que a taxa média de dados obtida pelo IPv6 (107,75 KB/s) foi maior que àquela obtida pelo IPv4 (77,88 KB/s), fato este justificado no trabalho pela menor utilização da capacidade da infraestrutura IPv6. Em [7], uma análise feita na lista dos um milhão de *sites* mais acessados no mundo mostrou que em 2011 aproximadamente 1% se mostravam acessíveis pelo IPv6. Os resultados das medições feitas no mesmo trabalho e, também, os resultados apresentados por [8] em 2012, mostraram que o desempenho dos protocolos IPv4 e IPv6 foi similar. Eles também afirmam que o principal motivo para os índices de menor desempenho do IPv6 aconteciam quando os dados encaminhados por meio deste protocolo passavam por sistemas autônomos (*Autonomous System*, AS) diferentes daqueles dados encaminhados pelo IPv4.

Os trabalhos encontrados na literatura, e que utilizam a *web* como fonte de dados, objetivam quase que em sua totalidade análises voltadas para a infraestrutura da Internet IPv6. Em geral, eles não consideram a perspectiva do usuário final, como o impacto que uma conexão IP em pilha dupla (IPv4 e IPv6 juntos) ou então somente utilizando o IPv6 poderiam causar ao acesso *web*. Nestes casos, não somente as características de desempenho e estabilidade poderiam afetar a experiência do usuário, mas também a disponibilidade do conteúdo mediante a configuração do protocolo IP utilizada. Dado este cenário, este trabalho propõe um método para a obtenção automatizada de informações do acesso *web* e faz um estudo comparativo entre aqueles acessos feitos pelo IPv4 e aqueles feitos pelo IP configurado em pilha dupla.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira. Na seção II são detalhados o método e o arranjo utilizados para as medições de campo. Na seção III, são apresentadas análises estatísticas das informações obtidas, comparando o acesso *web* feito pelo IP em pilha dupla com aquele feito apenas pelo IPv4. Os resultados foram organizados em função da quantidade de conteúdo obtido e em função do desempenho obtido. Por fim, a conclusão bem como as possíveis continuidades da pesquisa são mostradas na seção IV.

## II. DESCRIÇÃO DO MÉTODO E ARRANJO PARA AS MEDIÇÕES DE CAMPO

Para as análises propostas por este trabalho, foram eleitas cinco páginas *web* tendo como principal critério sua relevância com relação aos acessos feitos a elas no Brasil [9]. Elas também deveriam se encaixar na categoria de portal de conteúdo, de qualquer tipo, para prover dinamicidade de informações e também disponibilizar uma maior quantidade de objetos HTTP. Por fim, a disponibilidade da página por meio dos protocolos IPv4 e IPv6 foi o último pré-requisito para a seleção.

Para obter as informações dos acessos feitos às páginas selecionadas foram utilizados dois computadores igualmente configurados em *hardware* e *software*. Foi utilizada uma plataforma de *hardware* do tipo servidor para *rack*, equipado com um processador de quatro núcleos, 64 *bits* e *clock* de 2 GHz. A capacidade de memória RAM foi de 8 GB e os discos rígidos de 120 GB, utilizando tecnologia *Serial Attached SCSI* (SAS). O sistema operacional utilizado foi o CentOS Linux versão 6.3 com *kernel* suportando a arquitetura do *hardware* de 64 *bits*. O navegador *web* foi o Mozilla Firefox versão 17.0.3, suportando as tecnologias *web* convencionais utilizadas pelo usuário final [10] e também o protocolo *Happy EyeBalls* [11]. Para coletar as informações dos acessos foi utilizado o aplicativo analisador de protocolos de rede Tshark, uma extensão para uso em console do Wireshark. Cada computador utilizou uma configuração específica de endereçamento do protocolo IP. O equipamento denominado *Testbox<sub>IPv4</sub>* recebeu apenas um endereço de rede IPv4 e o equipamento *Testbox<sub>DS</sub>* recebeu um endereço IPv4 e outro IPv6. Os equipamentos foram posicionados na borda da rede de um Sistema Autônomo (*Autonomous System, AS*) da Internet, conectados a uma *switch gigabit ethernet*. A este mesmo *switch* foi conectado um servidor para resolução de nomes de domínio (*Domain Name System, DNS*), respondendo por consultas feitas tanto em IPv4 quanto em IPv6. O *switch*, por sua vez, foi conectado ao roteador *Inter-AS* responsável pelo roteamento entre sistemas autônomos da Internet. Este roteador foi configurado com um endereço IPv4 e outro IPv6, de forma a serem utilizados como rotas padrão para os equipamentos *Testbox<sub>IPv4</sub>*, *Testbox<sub>DS</sub>* e para o servidor DNS recursivo. Os equipamentos do arranjo não utilizaram quaisquer técnicas de tunelamento ou tradução de endereços IP e o acesso à Internet, em IPv4 e IPv6, foi feito pela mesma operadora de trânsito. Também foram utilizadas as mesmas estruturas de enlace de dados para ambas as versões do protocolo IP e, o tráfego originado por e destinado a estes equipamentos não passou por nenhum tipo de filtragem ou priorização.

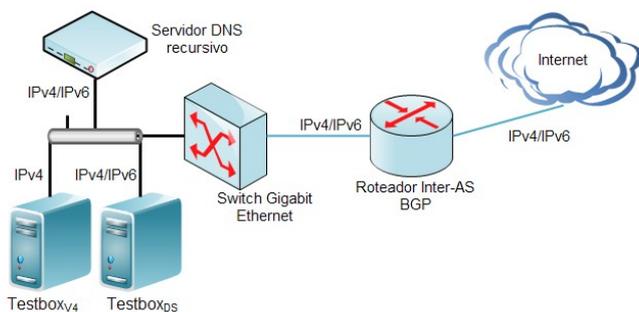


Fig. 1. Arranjo para as medições de campo

Os acessos às páginas *web* foram efetuados por *Testbox<sub>IPv4</sub>* e *Testbox<sub>DS</sub>* de forma automatizada e sincronizada. Para isto foi desenvolvida uma ferramenta [12] que, além de automatizar as medições, possibilitou diferenças de no máximo um segundo entre aquelas medições executadas por *Testbox<sub>IPv4</sub>* e *Testbox<sub>DS</sub>*. Esta abordagem foi adotada para minimizar possíveis diferenças nas informações coletadas causadas pelas condições da Internet no decorrer das medições. Após o recebimento do último objeto HTTP, referenciado pela página acessada, um complemento (*add-on*) especificamente desenvolvido para este propósito, fechava o navegador. Esta ação foi necessária para possibilitar a diferenciação das medições que conseguiram obter todos os objetos da página acessada, daquelas que foram fechadas pelo limite de 20 segundos do temporizador. Sendo assim, os computadores efetuavam o acesso de forma sincronizada, coletavam as informações do acesso até o recebimento do último objeto HTTP, fechavam o navegador e armazenavam as informações em arquivo texto.

## III. RESULTADOS

As medições de campo, utilizadas nas análises, consideraram mais de 19.000 acessos feitos a cada uma das cinco páginas *web* selecionadas, em um período de duas semanas. As páginas analisadas foram indexadas com números de um a cinco, sendo a *página 1* aquela que possui a maior média de objetos HTTP recebidos. As outras quatro páginas não obedecerem quaisquer critérios para ordenação.

### A. Análise em função da quantidade de conteúdo obtido

A Fig. 2 mostra os histogramas do número de *bytes* recebidos pelo IPv4 e também pelo IP em pilha dupla, nas medições da *página 1*. O número de *bytes* e o número de acessos estão representados por  $N_B$  e  $N_A$ , respectivamente. Considerando a somatória de todos os *bytes* recebidos nas medições, o computador com a configuração do IP em pilha dupla recebeu um número de *bytes* 7% maior do que aquele configurado apenas com o IPv4. Com relação às médias, o IP em pilha dupla obteve 1,35 MB por acesso e o IPv4 1,26 MB. Observou-se uma maior variabilidade na quantidade de *bytes* obtidos pelo IP em pilha dupla, dados os desvios padrão de 202 kB e 166 kB, para o IP em pilha dupla e para o IPv4, respectivamente.

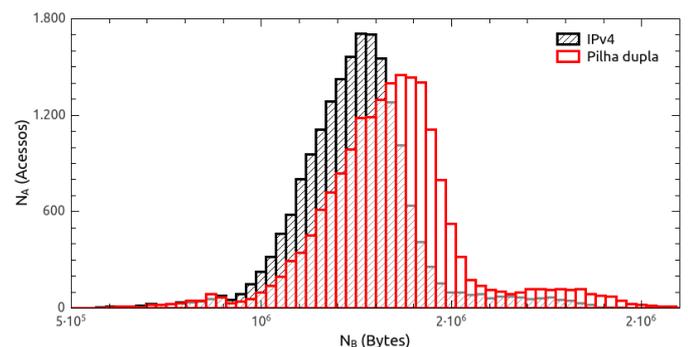


Fig. 2. Número de *bytes* recebidos da *página 1*

Também para a *página 1*, na Fig. 3 são mostrados os histogramas para o número de objetos HTTP recebidos, representados por  $N_O$ . Para esta medida, tanto o IP em pilha dupla quanto o IPv4 obtiveram a mesma quantidade de objetos. A média foi de 238 objetos recebidos por acesso e o desvio

padrão foi de 20 objetos tanto para o IP em pilha dupla quanto para o IPv4.

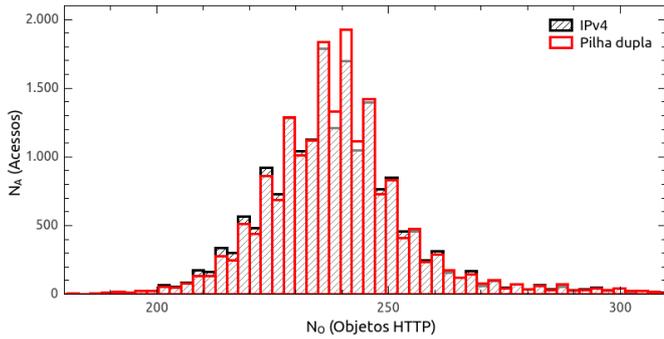


Fig. 3. Número de objetos HTTP recebidos da página 1

Considerando que as duas configurações do protocolo IP obtiveram a mesma quantidade de objetos HTTP, a diferença de 7% a mais no total de bytes obtidos pelo IP em pilha dupla indicou uma possível influência do IPv6 na dinâmica de carregamento da página web. Tecnologias de interação entre a página web e o navegador podem ter sido acionadas de formas distintas pelas duas configurações do protocolo IP, em meio ao carregamento dos objetos da página principal. Este fato pode ter ocasionado o recebimento de objetos diferentes e em alguns casos maiores, pelo IP em pilha dupla.

Para as cinco páginas web analisadas, a Fig. 4 traz o número de bytes no eixo da esquerda, e o número de objetos HTTP no eixo da direita. O número de bytes e de objetos recebidos por cada site, pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla está representado, respectivamente, por  $N_{B4}$  e  $N_{BD}$ , assim como o número de objetos HTTP está representado por  $N_{O4}$  e  $N_{OD}$ , respectivamente. Na TABELA I são mostradas as informações das diferenças do número de bytes,  $D_{NB}$  e do número de objetos,  $D_{NO}$ , obtidas por:

$$D_j = \frac{\text{maior}(j_4, j_D)}{\text{menor}(j_4, j_D)} - 1, \tag{1}$$

na qual  $j$  representa  $N_B$  ou  $N_O$ , a função  $\text{maior}(x,y)$  retorna o maior valor entre  $x$  e  $y$  e a função  $\text{menor}(x,y)$  retorna o menor valor entre  $x$  e  $y$ . Também na TABELA I, são apresentadas as médias  $\bar{x}_4$  e  $\bar{x}_D$  e os desvios padrão  $s_4$  e  $s_D$  para o número de bytes e de objetos obtidos pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla.

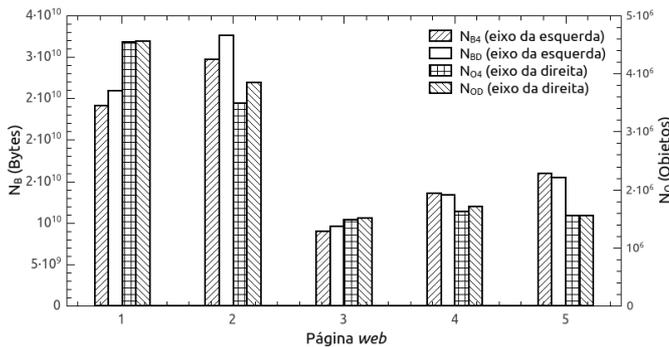


Fig. 4. Número de bytes e objetos HTTP recebidos por cada página web

Três comportamentos distintos foram observados. As páginas 1 e 5 apresentaram diferenças no número de bytes e a mesma quantidade de objetos HTTP, para as duas configurações do

protocolo IP. As páginas 2 e 3 mantiveram uma relação entre o número de bytes e de objetos recebidos, para ambas as configurações do protocolo IP. Por fim, a página 4 recebeu uma quantidade maior de objetos por uma configuração (pilha dupla) e um número maior de bytes pela outra (IPv4). Os comportamentos observados podem representar a influência da utilização do IPv6 nos tipos de tecnologias de desenvolvimento que cada página web utiliza, ou até mesmo, a disponibilização de conteúdos específicos para acessos feitos em IPv6.

TABELA I. NÚMERO DE BYTES E OBJETOS HTTP RECEBIDOS POR CADA PÁGINAS WEB

Página	$D_{NB}$ (%)	Número de bytes (kB)			
		$\bar{x}_4$	$\bar{x}_D$	$s_4$	$s_D$
1	7	1263	1357	166	202
2	9	1558	1709	320	304
3	6	470	501	186	167
4	1	713	703	161	210
5	3	838	809	216	215
Página	$D_{NO}$ (%)	Número de objetos HTTP			
		$\bar{x}_4$	$\bar{x}_D$	$s_4$	$s_D$
1	-	238	238	20	20
2	9	183	202	26	22
3	2	77	79	13	10
4	4	86	89	10	10
5	-	82	82	13	13

B. Análise em função do desempenho obtido

No decorrer das análises feitas em função do desempenho serão mostradas as diferenças do IP em pilha dupla com relação ao IPv4 para os tempos de carregamento, taxas de bytes e taxas de objetos HTTP. Para a obtenção dessas diferenças, a seguinte fórmula foi utilizada:

$$D_j = \frac{j_4 - j_D}{\text{maior}(j_4, j_D)}, \tag{2}$$

na qual  $j$  representa  $T$ ,  $R_B$  ou  $N_O$  e a função  $\text{maior}(x,y)$  retorna o maior valor entre  $x$  e  $y$ . Desta forma, por meio de (2), obteve-se as diferenças dos tempos de carregamento,  $D_T$ , diferenças das taxas de bytes,  $D_{RB}$ , e diferenças das taxas de objetos HTTP,  $D_{RO}$ .

Os tempos de carregamento dos objetos HTTP para as medições da página 1 são mostrados nos histogramas da Fig. 5. O tempo médio de carregamento foi de 6,5 segundos, com desvio padrão de 2,5 segundos para ambas as configurações do IP.

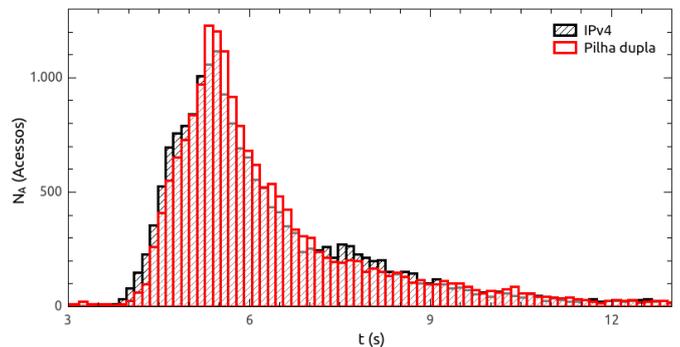


Fig. 5. Tempo de carregamento dos objetos HTTP da página 1

Os histogramas mostram um comportamento parecido do IPv4 e do IP em pilha dupla, porém observou-se que o IP em pilha dupla obteve em maior número acessos com tempos mais elevados que o IPv4. Fatores como o tempo para resolução de nomes de domínio e o tempo para estabelecimento das conexões TCP, podem ter contribuído para este tipo de comportamento.

Considerando ainda as medições relacionadas a *página 1*, o histograma da Fig. 6 mostra as diferenças,  $D_T$ , obtidas por (2), dos tempos de carregamento do IPv4 e do IP em pilha dupla. Observou-se que em 57% dos acessos, o IP em pilha dupla foi mais lento para carregar os objetos da página *web* do que o IPv4. Também foi observado que 8% dos acessos não apresentaram diferenças maiores do que 10% nos tempos de carregamento, pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla.

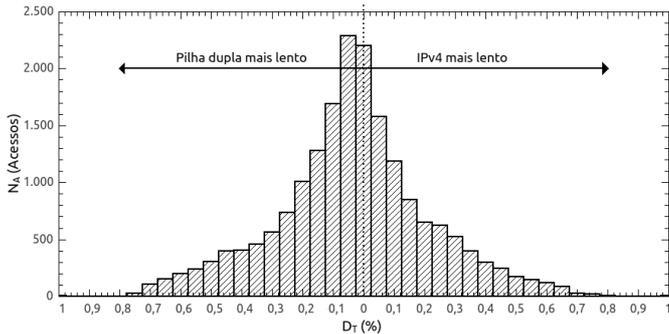


Fig. 6. Diferenças nos tempos de carregamento para a *página 1*

A Fig. 7 mostra as taxas médias de *bytes*, representadas por  $R_B$ , obtidas pelas medições da *página 1*. Considerando todas as medições efetuadas, o IP em pilha dupla obteve uma taxa média, por acesso, de 220 kB/s e o IPv4 de 208 kB/s, ambos com um desvio padrão de 57 kB/s. O comportamento similar dos histogramas, juntamente com o a informação do desvio padrão, mostram que a taxa de *bytes* seguiu um perfil semelhante para ambas as configurações do protocolo IP.

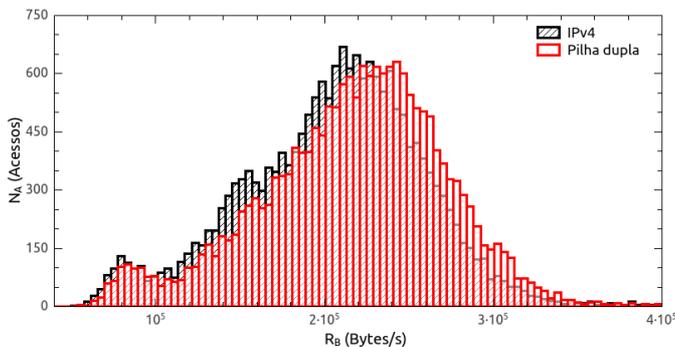


Fig. 7. Taxas médias de *bytes* obtidas pelas medições da *página 1*

Com relação às diferenças das taxas médias de *bytes*,  $D_{RB}$ , obtidas por (2), o histograma da Fig. 8 mostra que o IP em pilha dupla obteve taxas mais altas em 63% dos acessos e o IPv4 nos 37% restantes. As taxas mais altas obtidas pelo IP em pilha dupla podem estar relacionadas a questões de infraestrutura da Internet, como por exemplo, a maior disponibilidade dos *links* de comunicação pelos quais o tráfego IPv6 é encaminhado, ou então a fatores da própria dinâmica de carregamento, como o atraso no recebimento dos objetos da página inicial, permitindo o envio de conteúdos que são atualizados de forma automática

com o passar do tempo. Por fim, os acessos que obtiveram taxas com diferenças de até 10% somaram 7% do total.

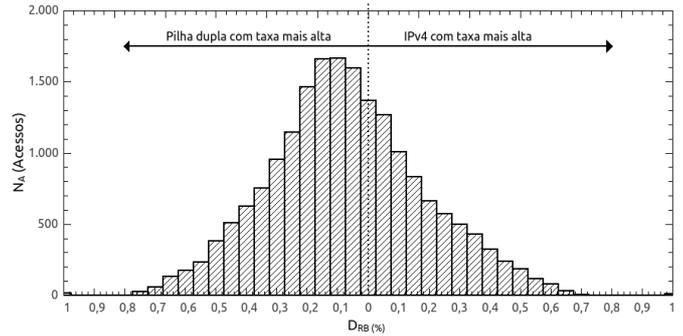


Fig. 8. Diferenças das taxas médias de *bytes* da *página 1*

Para a taxa média de objetos HTTP,  $R_O$ , os histogramas da Fig. 9 mostram um comportamento similar para o IPv4 e para o IP em pilha dupla nas medições da *página 1*. Neste caso, as duas configurações do protocolo IP obtiveram, respectivamente, médias de 39 e 38 objetos por segundo, sendo o desvio padrão de 10 objetos por segundo também para ambos.

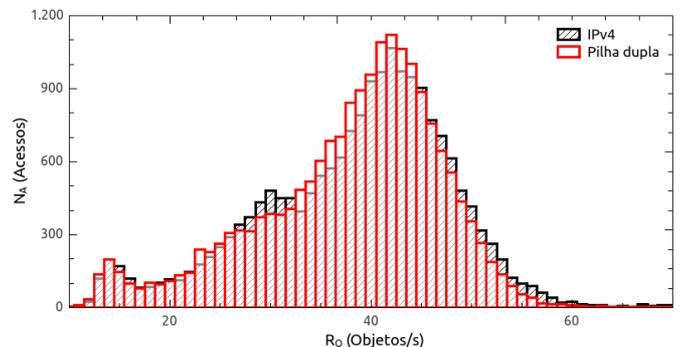


Fig. 9. Taxas médias de objetos HTTP das medições da *página 1*

Para as diferenças das taxas de objetos HTTP,  $D_{RO}$ , obtidas por (2), o histograma da Fig. 10 mostra que 53% dos acessos obtiveram taxas maiores por meio do IP em pilha dupla e que o IPv4 obteve taxas maiores nos outros 47% dos acessos. Com relação ao número de acessos que obtiveram taxas com até 10% de diferença, esses correspondem a 10% do total.

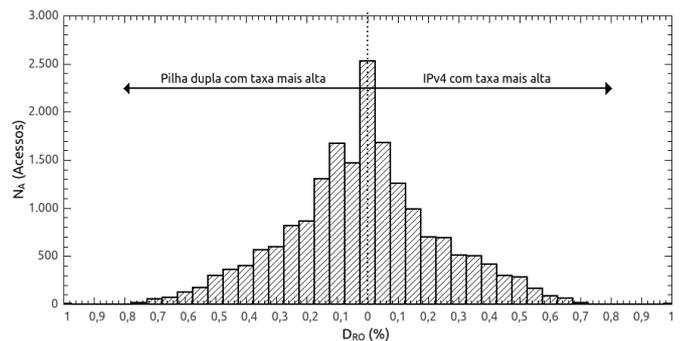


Fig. 10. Diferenças das taxas médias de objetos da *página 1*

Para as cinco páginas *web*, a Fig. 11 mostra os tempos médios de carregamento obtidos nas medições. Observou-se uma similaridade nos tempos médios das *páginas 1, 2, 3 e 5*. Para a *página 2*, o tempo médio ligeiramente mais elevado do IPv4 foi influenciado pelas oscilações individuais do tempo de

carregamento de algumas medições. Este comportamento foi observado apenas para o IPv4 e ocorreu no carregamento de objetos HTTP localizados fora da rede do provedor de hospedagem da página. Para a *página 4*, a mais afetada pela utilização do IP em pilha dupla, constatou-se um aumento de 32% com relação ao tempo médio de carregamento obtido pelo IPv4. Neste caso, observou-se que mecanismos de balanceamento de carga utilizados pela página mostraram-se ativos apenas para os acessos feitos pelo IPv4. Uma outra observação, com relação a *página 4*, foi o aumento de retransmissões TCP nos acessos feitos pelo IP em pilha dupla.

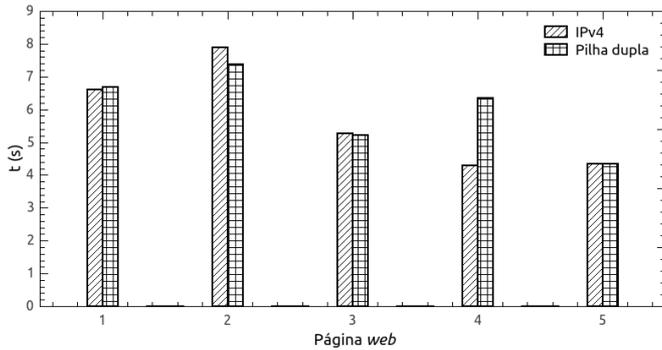


Fig. 11. Tempo médio de carregamento para cada página web

Ainda para as cinco páginas web, a Fig. 12 apresenta as taxas médias de bytes e de objetos HTTP obtidas pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla. Na figura,  $R_{B4}$  representa a taxa média de bytes para o IPv4,  $R_{BD}$  para o IP em pilha dupla e  $R_{O4}$  e  $R_{OD}$  as taxas médias de objetos para o IPv4 e para o IP em pilha dupla, respectivamente. A TABELA II, por sua vez, mostra as informações das diferenças obtidas nas taxas de bytes,  $D_{RB}$  e de objetos,  $D_{RO}$ , obtidas por (1) para as duas configurações do protocolo IP. Os desvios padrão das taxas de bytes e de objetos,  $s_4$  e  $s_D$ , respectivamente, também são apresentados na TABELA II.

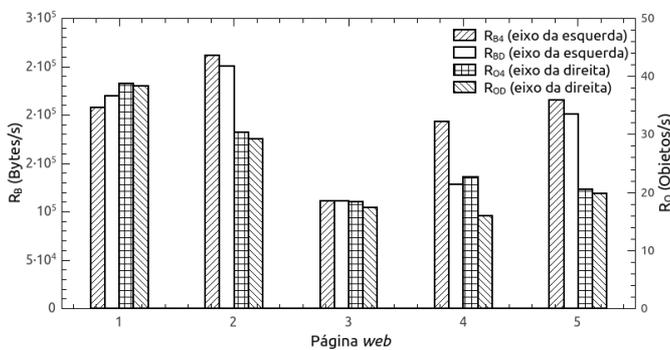


Fig. 12. Taxas médias de bytes e objetos HTTP para cada página web

TABELA II. TAXAS MÉDIAS DE BYTES E OBJETOS HTTP PARA CADA PÁGINAS WEB

Página	Taxa de bytes (kB/s)			Taxa de objetos (obj/s)		
	$D_{RB}$ (%)	$s_4$	$s_D$	$D_{RO}$ (%)	$s_4$	$s_D$
1	5	57	57	1	10	10
2	4	140	76	4	16	9
3	-	53	39	5	8	6
4	33	77	60	30	8	7
5	7	80	71	4	7	6

Os acessos às páginas 1, 2, 3 e 5 obtiveram taxas de bytes e de objetos HTTP semelhantes, pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla. Para a página 2, observou-se um comportamento diferente das taxas obtidas pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla ao longo das medições, dada a diferença de cerca de 55% nos desvios padrão das duas configurações. Esta diferença foi atribuída às oscilações dos tempos de carregamento da página, causadas pelos objetos HTTP localizados externamente ao provedor de hospedagem. Para a página 4, o aumento dos tempos de carregamento mencionado anteriormente influenciou de forma negativa as taxas de bytes e de objetos obtidas pelo IP em pilha dupla.

#### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs um método para a obtenção automatizada de informações do acesso à páginas web e fez um estudo de campo comparativo entre aqueles acessos executados pelo IPv4 e pelo IP em pilha dupla. Os resultados mostraram que para as cinco páginas web analisadas o desempenho do IP em pilha dupla é comparável ao do IPv4. Observou-se que mesmo para o pior caso da pilha dupla, dado pelo aumento de 32% do tempo médio de carregamento da página 4, a experiência do usuário não seria afetada, uma vez que tempos similares foram observados para a página 1 utilizando apenas o IPv4. Como continuação deste trabalho, o método apresentado pode ser aplicado a uma quantidade maior das páginas web mais acessadas no mundo, juntamente com a ampliação de pontos de observação.

#### REFERÊNCIAS

- [1] G. Huston, "IPv4 Address Report," 2009. Disponível: <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html>, último acesso: 12/05/2013 às 15:00 horas.
- [2] Internet Assigned Numbers Authority (IANA), "IANA IPv4 Address Space Registry," 2013. Disponível: <http://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.xml>, último acesso: 12/05/2013 às 15:00.
- [3] S. Deering and R. Hinden, "RFC 2460. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," 1998.
- [4] G. Maier et al., "On dominant characteristics of residential broadband internet traffic," *IMC '09 Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference*, pp. 90-102, 2009.
- [5] C. Labovitz et al., "Internet inter-domain traffic," *SIGCOMM '10 Proceedings of the ACM SIGCOMM 2010 conference*, pp. 75-86, 2010.
- [6] Y. Law et al., "Empirical Performance of IPv6 vs. IPv4 under a Dual-Stack Environment," *ICC '08 IEEE International Conference*, pp. 5924-5929, 2008.
- [7] M. Nikkiah et al., "Assessing IPv6 Through Web Access - A Measurement Study and Its Findings," *ACM CoNEXT '11*, 2011.
- [8] A. Dhamdhare et al., "Measuring the Deployment of IPv6: Topology, Routing and Performance," *ACM IMC'12*, pp. 537-550, 2012.
- [9] Alexa - The Web Information Company, "The top 500 sites in Brasil". Disponível: <http://www.alexa.com/topsites/countries/BR>, último acesso: 12/05/2013 às 15:00 horas.
- [10] Mozilla Software, "Mozilla Firefox, Built on Open Technology". Disponível: <http://www.mozilla.org/en-US/firefox/technology/>, último acesso: 12/05/2013 às 15:00 horas.
- [11] D. Wing and A. Yourtchenko, "RFC 6555. Happy Eyeballs: Success with Dual-Stack Hosts," 2012.
- [12] D. F. Pirani e M. L. F. Abbade, "WProbe, Ferramenta para Automatização de Acessos à Páginas Web". Disponível: <http://sourceforge.net/projects/wprobe>, último acesso: 05/05/2013 às 14:10 horas.