

Redes Sem Fio de Múltiplos Saltos Definidas por *Software*

Marcelo Moraes^{1,2,4}, Billy Pinheiro^{1,3,4}, Vagner Nascimento^{1,3,4}, Antônio Abelém^{1,2,4}

¹Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM)

²Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação (PPGCC)

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica(PPGEE)

⁴Universidade Federal do Pará

Caixa Postal 479 – 66075-110 – Belém – PA – Brasil

{marcelo,billy,vagner,abelem,}@ufpa.br

Abstract. *The advent of Software-Defined Networking has generated great interest in the academic community and industry. However, this concept has been applied almost exclusively on wired networks. Its use in wireless networks is still rather timid both by academia and industry. This paper aims apply the principles of SDN architecture in wireless multi-hop and their compatibility and functionality will be evaluated on a comparative study of their performance with a traditional production network.*

Resumo. *O surgimento das Redes Definidas por Software (Software-Defined Networks - SDN) vem gerando um grande interesse na comunidade acadêmica e na indústria. Entretanto, esse conceito tem sido aplicado quase exclusivamente em redes cabeadas. Sua utilização em redes sem fio ainda é bastante tímida tanto por parte da academia quanto pela indústria. Este artigo tem como objetivo aplicar os princípios da arquitetura SDN em redes sem fio de múltiplos saltos e sua compatibilidade e funcionalidades serão avaliadas em um estudo comparativo de seu desempenho com uma rede de produção tradicional.*

1. Introdução

Atualmente não se pode pensar em serviços oferecidos à população que não necessitem de alguma forma de comunicação através de redes de computadores. A Internet se tornou um artefato conhecido e acessado por uma fração significativa da população e iniciativas de inclusão digital são desenvolvidas em diversas esferas com o objetivo de expandir seu alcance, idealmente a toda a população mundial [Guedes et al. 2012].

Neste contexto existe um aumento na demanda por melhorias na infraestrutura e na necessidade de novas tecnologias instaladas no núcleo da rede. Contudo, há uma limitação na velocidade desses avanços que, em grande parte, se dá pelo forte atrelamento entre *hardware* e *software*. Na maioria das vezes o *hardware* é fabricado com o respectivo *software* instalado e com todos os seus recursos pré-definidos. Qualquer extensão de suas funções só poderá ser executada pelo fabricante e, muitas vezes, mediante a aquisição de licenças de uso.

As tecnologias de redes programáveis surgiram para atender a essa nova demanda, permitindo que computadores de redes tenham suas funções definidas através de uma interface de programação padronizada conforme as necessidades e objetivos desejados. O

principal representante desta tecnologia é o OpenFlow, proposto pela Universidade de Stanford [McKeown et al. 2008].

No OpenFlow os recursos dos comutadores são alocados e compartilhados conforme necessidade de cada classe de usuário ou experimento, o que possibilita que o comportamento das redes seja definido através de aplicações executadas a partir de servidores remotos. A este novo paradigma, deu-se o nome de Redes Definidas por Software (*Software-Defined Networks* - SDN).

Neste trabalho o paradigma SDN será aplicado sobre uma rede sem fio de múltiplos saltos e suas funcionalidades serão avaliadas em um estudo comparativo de seu desempenho com o desempenho de uma rede de produção convencional em um *backbone* 802.11s [Hiertz et al. 2010]. Além disso, suas métricas serão comparadas a valores considerados adequados na literatura para prover bom desempenho a aplicações de tempo real, tais como Voz sobre IP (*Voice over IP* – VoIP).

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: a segunda seção apresenta a proposta deste trabalho, bem como a arquitetura de *hardware* e *software* utilizados e a apresentação dos detalhes do ambiente experimental. A terceira seção trata da metodologia de avaliação. Os resultados obtidos estão expostos na quarta seção. Por fim, a conclusão e expectativas para trabalhos futuros são apresentados na quinta seção.

2. Redes Sem Fio Definidas por Software

Os protocolos de roteamento nas redes sem fio de múltiplos saltos levam em consideração critérios de desempenho tais como estabilidade do enlace e número de saltos para determinação das suas tabelas de roteamento. Entretanto, estes critérios nem sempre se mostram eficientes a todas as classes de serviços ou usuários.

Esta proposta apresenta uma solução de Redes Sem Fio de Múltiplos Saltos Definidas por Software (*Software-Defined Multihop Wireless Networks* - SDMWN) onde será possível aproveitar a flexibilidade nativa das redes sem fio para usufruir dos benefícios de SDN também nestes ambientes, sendo possível programá-las e atender às demandas de novos serviços e usuários.

2.1. Definição dos Componentes

Nas redes sem fio de múltiplos saltos é necessário também que haja um canal seguro entre o controlador e os comutadores. Neste trabalho optou-se pela abordagem *out of band*, onde se utiliza uma interface para encaminhar o tráfego de controle e outra para o tráfego de dados, garantido melhor desempenho no encaminhamento de pacotes. Sendo assim, para o canal seguro será utilizada uma da interface operando no padrão IEEE 802.11s que utiliza o protocolo HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*) para encaminhamento de pacotes. Desta forma não é necessário que haja qualquer outro tipo de enlace (cabado ou ponto-a-ponto) entre comutadores e controlador.

Uma segunda interface foi configurada para funcionar em modo *ad hoc*, por onde todo o tráfego de dados da rede SDMWN será encaminhado, formando um *backbone* de dados isolado do *backbone* de controle.

Por fim, para prover acesso a usuários sem fio, duas outras interfaces virtuais foram configuradas em modo *Access Point* (AP), uma para usuários da rede SDMWN e

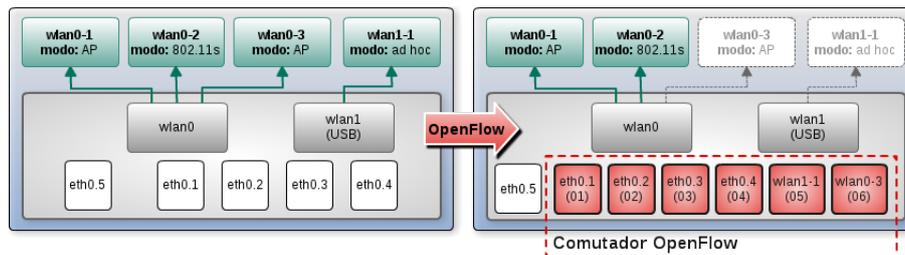


Figura 1. Arquitetura de Hardware na Visão do OpenFlow

outra para usuários da rede de produção.

O *hardware* utilizado neste experimento é o roteador TL-WR1043ND com processador AR9132 400 MHz, com 8 MB de memória flash e 32 MB de memória RAM. Este rádio tem apenas uma interface de rede sem fio e para atender os requisitos da arquitetura, uma interface D-Link DWA-140 com chipset Atheros AR9271, compatível com o padrão IEEE 802.11bgn foi adicionada. Como descrito acima, serão necessárias quatro interfaces, para isso, a interface wlan0 foi dividida em três interfaces virtuais, como pode ser visto no lado direito da Figura 1.

Apenas com o *software* original de fábrica, este roteador não tem suporte nativo aos protocolos 802.11s e OpenFlow, entretanto foi feita a substituição do *firmware* original pelo OpenWRT *Backfire* 10.03.1 [OpenWRT 2013], que é uma distribuição Linux com kernel 2.6.32.27 personalizada para ser embarcada nestes dispositivos. Com o OpenWRT foi possível habilitar o protocolo 802.11s e o OpenFlow.

Ainda na Figura 1, do lado esquerdo está o *hardware* na visão do OpenFlow. As interfaces sem fio wlan1-1 e wlan0-3 são tratadas como portas ethernet comuns e referenciadas no comutador OpenFlow como portas 5 e 6, respectivamente. As outras duas interfaces sem fio (wlan0-1 e wlan0-2) são usadas para os tráfegos de produção e do canal seguro e não terão seus fluxos manipulados pelo OpenFlow.

2.2. Ambiente Experimental

Um ambiente de testes foi montado dispondo de quatro rádios da forma como apresentado na Figura 2, onde se observa na região definida como “origem” que há dois usuários: “Produção” e “SDMWN A”. Na região definida como “destino” há um enlace de acesso à Internet, um controlador e um computador “SDMWN B”. Ao centro, na região denominada “*Backbone*”, está a rede sem fio de múltiplos saltos formada pelos quatro rádios.

O usuário “Produção” acessará a rede através da interface AP de produção e fará utilização tradicional da rede como acesso à *web*, correio eletrônico, etc. Seus pacotes serão encaminhados da interface AP para a interface 802.11s através de roteamento de camada 3 do modelo TCP/IP. O encaminhamento de pacotes de R1 a R4 é definido pelo HWMP. Finalmente, em R4, os pacotes são roteados para a Internet. O OpenFlow não atua sobre os pacotes desta rede.

O usuário “SDMWN A” acessará a rede através da interface AP da SDMWN. Deste ponto em diante o OpenFlow manipulará as tabelas de fluxos dos rádios para encaminhar os pacotes “saltando” de R1 para R2, de R2 para R3 e de R3 para R4, sempre usando suas respectivas interfaces *ad hoc*. Em R4 o pacote é encaminhado para “SDMWN

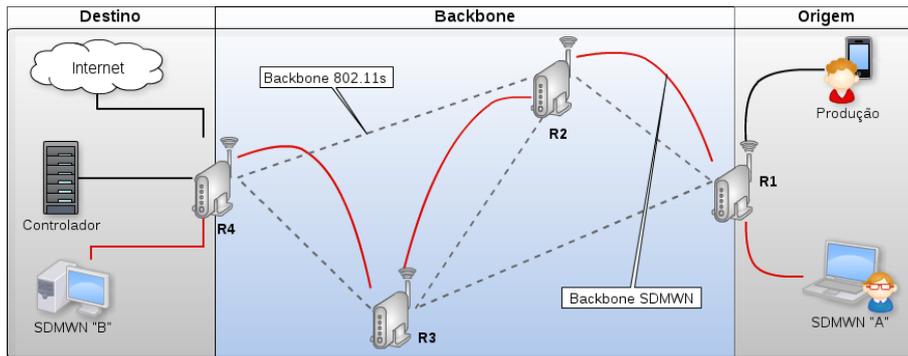


Figura 2. Representação do Ambiente de Experimental

B". Todo o encaminhamento foi determinado por regras `dpctl`¹ apropriadas em cada um dos rádios do enlace. A comunicação entre o Controlador e os rádios se dará pela rede 802.11s, da mesma forma como acontece com a rede de produção.

Os rádios tiveram suas potências ajustadas e foram alocados em salas distintas de forma garantir que a rede 802.11s encaminhasse seus pacotes pelos mesmos rádios da rede SDMWN para que a comparação dos resultados representasse maior fidelidade possível.

3. Metodologia de Avaliação

O desempenho da rede foi determinado através da avaliação das principais métricas usadas para este tipo de análise. Para determinar vazão, jitter e perda de pacotes utilizou-se o *software* `iperf` [Iperf 2013] em sessões com duração de 100 segundos. A latência foi outra métrica analisada e utilizou-se o comando `ping` em sessões de 100 pings com intervalos de 0,2 milissegundos entre eles. As sessões de coleta de dados foram repetidas quarenta vezes em quatro momentos diferentes tanto na rede 802.11s, quanto na SDMWN.

4. Resultados Preliminares

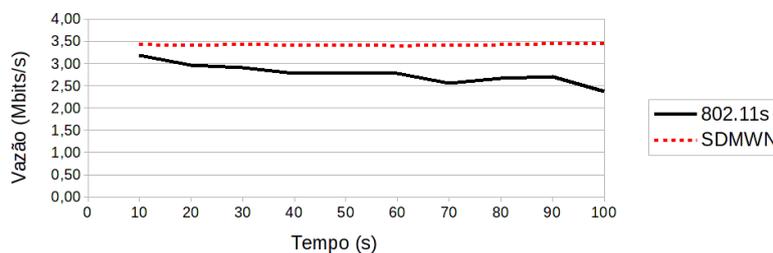


Figura 3. Vazão Média Obtida nos Enlaces SDMWN e 802.11s

No gráfico da Figura 3 observa-se que a curva que representa a vazão obtida no enlace 802.11s esteve sempre abaixo da curva do enlace SDMWN. Pode-se verificar também que na rede SDMWN, a vazão se manteve constante, em aproximadamente a 3,5 Mbits/s, enquanto que na rede 802.11s, a curva apresentou queda no decorrer do tempo, iniciando em 3,19 Mbits/s e terminando em 2,37 Mbits/s.

¹ programa usado para criar, modificar e apagar *datapaths*

Ao analisar as amostras individualmente pode-se observar que a vazão no enlace SDMWN, se manteve constante com valores muito próximos em todas as quarenta amostras, enquanto que nas amostras da rede 802.11s notou-se grandes discrepâncias entre as amostras, com variação superior a 88% entre o melhor e o pior caso.

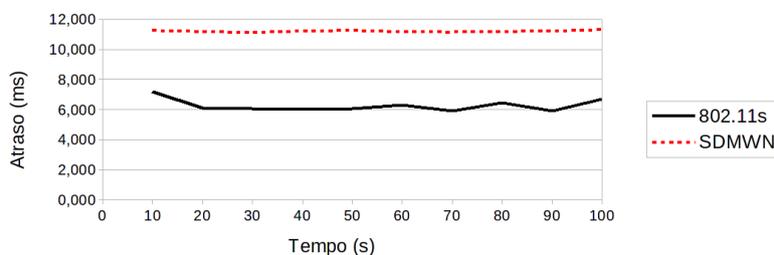


Figura 4. Atraso Médio Obtido nos Enlaces SDMWN e 802.11s

O atraso médio no enlace SDMWN foi ligeiramente superior ao atraso da rede 802.11s e pode ser visto na Figura 4. Apesar de apresentar valores maiores, segundo [Percy and Hommer 2003], o atraso no enlace SDMWN ainda pode ser considerado satisfatório para atender a aplicações de VoIP, que toleram atrasos de até 100 ms.

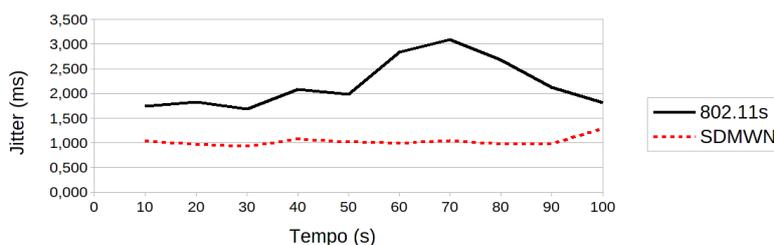


Figura 5. Jitter Médio Obtido nos Enlaces SDMWN e 802.11s

Para que a qualidade da voz em ligações VoIP não seja comprometida, [Percy and Hommer 2003] afirma que o jitter não deve ser superior a 40 ms e a perda de pacotes não pode ultrapassar 1% dos pacotes transmitidos. A Figura 5 apresenta o jitter nos dois cenários e pode-se verificar que ambos estão com valores de acordo com os requisitos de qualidade de aplicações sensíveis à variação do atraso.

Tabela 1. Resumo das Métricas Levantadas

	Vazão (Mbps)	Jitter	Latência	Perda de Pacotes
SDMWN	3,41 Mbps	1,027 ms	11,203 ms	0,39%
802.11s	2,77 Mbps	2,187 ms	6,277 ms	13,31%

Por fim, na Tabela 1, um resumo das médias obtidas nas sessões de coleta de dados. Destaque para a perda de pacotes, que no enlace SDMWN ficou em apenas 0,39%, enquanto que no enlace 802.11s, a perda foi superior a 13%. Este nível de perda de pacotes na rede 802.11s justifica as discrepâncias encontradas nos valores entre o melhor e o pior caso da vazão.

Conforme [Abid 2010], enlaces com dois ou mais saltos possuem oscilações nos valores da métrica *Airtime Link Metric* - ALM usada pelo HWMP para definição de caminhos. Essas oscilações fazem com que os dispositivos tentem encontrar caminhos com

AML melhores, causando interrupções na comunicação fim a fim, aumentando a perda de pacotes e reduzido a vazão.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Diante do que foi exposto, demonstrou-se que SDMWN é uma proposta viável e poderá ser experimentada e utilizada, inclusive por aplicações exigentes como VoIP, uma vez que no cenário apresentado pôde-se definir facilmente a topologia de encaminhamento fim a fim através dos comutadores sem fio OpenFlow. Além disso, as métricas coletadas apontam excelentes níveis de qualidade no ambiente proposto com seu desempenho sendo superior, em alguns casos, ao desempenho da rede 802.11s de produção.

Desta forma, uma SDMWN poderá ser utilizada em ambientes onde se faz necessário expandir o acesso da rede cabeada através de uma infraestrutura de rede sem fio, mantendo-se todas as premissas e configurações iniciais aplicadas à SDN cabeada, sem que isso demande grandes alterações na topologia existente. Contudo, a característica de dinamicidade das redes sem fio de múltiplos saltos faz com que algumas situações sejam consideradas desafiadoras e deverão ser tratadas em trabalhos futuros:

1. O desempenho do padrão IEEE 802.11s é suficiente para atender a comunicação entre Controlador e Roteadores sem fio sem degradar o desempenho da rede?
2. Tecnologias baseadas em protocolos de roteamento de camada 3, como OLSR (*Optimized Link State Routing*) ou AODV (*Ad hoc On-Demand Distance Vector*), deverão ser testadas como alternativas ao HWMP para o canal de controle.
3. Neste trabalho a rede foi criada adicionando-se estaticamente regras nas tabelas de fluxos de cada rádio, porém uma aplicação para o controlador que execute essa tarefa deverá ser desenvolvida, especialmente em casos onde um rádio do enlace se torne indisponível e um caminho alternativo seja necessário.

Referências

- Abid, M. R. (2010). *Link quality characterization in ieee 802.11s wireless mesh networks*. PhD thesis, Auburn, AL, USA. AAI3446193.
- Guedes, D., Vieira, L. F. M., Vieira, M. M., Rodrigues, H., and Nunes, R. V. (2012). Redes definidas por software: uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de pesquisas em redes de computadores. In *XXX Simposio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuidos (SBRC 2012)*, pages 160–210, Ouro Preto, Brasil.
- Hiertz, G., Denteneer, D., Max, S., Taori, R., Cardona, J., Berlemann, L., and Walke, B. (2010). Ieee 802.11s: The wlan mesh standard. *IEEE Wireless Communications*, pages 104–111.
- Iperf (2013). Iperf - the TCP/UDP bandwidth measurement tool. www.iperf.fr.
- McKeown, N., Anderson, T., Balakrishnan, H., Parulkar, G., Peterson, L., Rexford, J., Shenker, S., and Turner, J. (2008). Openflow: enabling innovation in campus networks. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 38(2):69–74.
- OpenWRT (2013). Openwrt: Wireless freedom.
- Percy, K. and Hommer, M. (2003). Tips from the trenches on voip. In *Network World Fusion*.