

# Mobilidade em NDN: Consumidores versus Produtores

Francisco R. C. Araújo<sup>1\*</sup>, Leobino N. Sampaio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PGCOMP)  
Instituto de Matemática – Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Salvador – BA – Brasil

{franciscorca, leobino}@ufba.br

**Resumo.** *As ICNs surgiram para reconstruir uma arquitetura que atenda as demandas, atuais e futuras, da Internet. NDN apresenta-se como uma arquitetura ICN de destaque por possuir diversas características para a Internet do Futuro, sua comunicação baseia-se em consumidores que requisitam interesses aos produtores para a obtenção de dados. A mobilidade do consumidor é razoavelmente suportada pela arquitetura, no entanto, a mobilidade do produtor é um desafio por apresentar danos à rede. Neste contexto, este trabalho apresenta avaliações sobre os diferentes impactos causados na rede pela mobilidade do produtor e do consumidor. Os experimentos realizados evidenciam os desafios de manter a comunicação ativa com o produtor móvel.*

## 1. Introdução

A quantidade de dispositivos e a forma de acesso à *Internet* mudaram significativamente nos últimos anos. De acordo com a [Cisco 2016], o tráfego de dados móveis global cresceu 74% em 2015 e a perspectiva é que alcance o valor de 30,6 *exabytes* mensais em 2020. No entanto, a arquitetura da *Internet* foi projetada para uma época em que um conjunto limitado de máquinas compartilhavam recursos entre si, o que resultou em um modelo de comunicação entre duas máquinas finais [Jacobson et al. 2009].

Diante das novas demandas em torno da utilização da *Internet* surgiram as *Information-Centric Networking* (ICN). Há várias abordagens em ICN [Xylomenos et al. 2014] [Liu et al. 2017]. Dentre estas abordagens ganharam destaque as *Content Centric Network* (CCN) [Jacobson et al. 2009], bem como sua sucessora *Named Data Networking* (NDN) [Zhang et al. 2014]. CCN/NDN possuem três estruturas: (I) *Forwarding Information Base* (FIB) mantém as rotas para as fontes de dados (produtores); (II) *Pending Interest Table* (PIT) mantém os registros de interesses, que ainda não foram atendidos, para possibilitar que os dados retornem aos solicitantes (consumidores); (III) *Content Store* (CS) armazena os dados em *cache* para atender a futuros interesses.

Em NDN não existe estabelecimento de conexão, os consumidores emitem interesses na rede que responde com os dados solicitados. Esta característica possibilita o suporte a mobilidade do consumidor, pois ao se mover para uma nova rede o consumidor basta enviar novamente os interesses para os dados que ainda não recebeu. Por outro lado, a mobilidade do produtor apresenta um desafio em aberto [Zhang et al. 2016]. Devido às mudanças nos nomes dos conteúdos e ao tempo necessário para atualizar as tabelas de roteamento ao longo da rede [Xylomenos et al. 2014] [Huynh et al. 2017].

---

\*Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB, pelo apoio financeiro.

Este trabalho apresenta a seguinte contribuição: uma análise comparativa entre os danos ocasionados pela mobilidade do produtor e pela mobilidade do consumidor em Redes Centradas no Conteúdo. Além disso, apresenta uma visão geral do estado da arte relacionado a mobilidade de produtores em NDN.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o estado da arte relacionado a mobilidade em NDN. A Seção 3 apresenta a descrição do ambiente adotado nos experimentos. A Seção 4 aborda as avaliações relacionadas aos impactos causados na rede pela mobilidade de nós; e por fim, a Seção 5 conclui o trabalho e discute direções para trabalhos futuros.

## 2. Estado da Arte

Diversas abordagens surgiram para investigar o problema da mobilidade do produtor em NDN. Dado o fluxo bidirecional de pacotes de interesses/dados, a mobilidade em NDN pode ser dividida em dois sub-problemas: como os dados solicitados podem ser devolvidos a um consumidor em movimento (mobilidade de consumidores); e como os interesses podem atingir os dados gerados pelos produtores em movimento (mobilidade de produtores) [Zhang et al. 2016].

1. **Mobilidade do consumidor** – Quando um consumidor se move em NDN, ele pode simplesmente emitir novas mensagens de interesse a partir de seu local atual para os dados que ainda não recebeu. Se os caminhos antigos e novos se cruzam, os interesses reexpressos recuperam os dados anteriormente solicitados da CS do primeiro roteador comum a ambos os caminhos, ou são combinados com o interesse anterior sem se propagar mais [Zhang et al. 2016]. No entanto, os pacotes de dados correspondentes também serão entregues à sua localização antiga [Xylomenos et al. 2014].
2. **Mobilidade do produtor** – Em NDN, o nome do conteúdo é usado para identificar cada conteúdo e também encapsulado em pacotes NDN para roteamento. A vinculação Localizador/Identificador torna a mobilidade do produtor mais desafiadora. Primeiro, um produtor móvel precisa anunciar os prefixos de nome do conteúdo em um novo local, o que traz grande pressão e grave problema de escalabilidade no plano de roteamento. Em segundo lugar, os interesses dos consumidores de conteúdo podem ir para os antigos locais desatualizados o que causa *timeout* e retransmissão de interesse [Gao and Zhang 2016].  
O apoio à mobilidade de produtores na NDN continua a ser um desafio de investigação em aberto, particularmente no caso de transmissões em tempo real, como vídeo *streaming* [Ge et al. 2016].

De acordo com [Lehmann et al. 2016] a mobilidade dos produtores pode ser dividida em dois períodos: (1) indisponibilidade – caracterizado pela falta de conectividade de rede do produtor durante a mobilidade, e (2) reconexão – refere-se ao processo de restabelecer a conectividade do produtor. Para tratar o período de indisponibilidade do produtor [Lehmann et al. 2016] classifica, de acordo com a literatura, quatro categorias de extensão da arquitetura NDN:

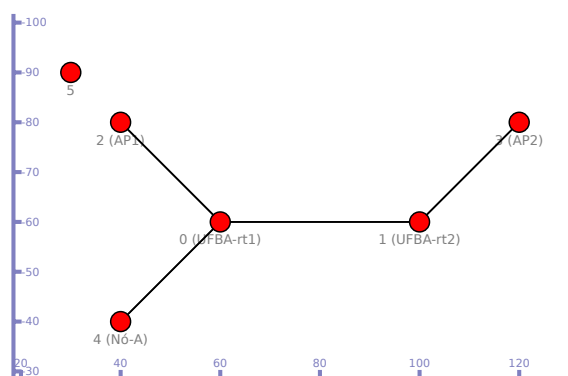
1. **Envio proativo** – Visa manter os dados disponíveis, através de replicação proativa, em vez de manter a alta disponibilidade do produtor. Antes de se deslocar, o produtor descarrega os dados proativamente para o solicitante. O roteador que recebe os dados os armazena, para atender aos pedidos futuros [Lehmann et al. 2016].

2. **Armazenar e encaminhar pedidos** – Tenta evitar a perda de pacotes de interesses e seus reenvios, através da adição de um elemento de rede responsável pelo armazenamento de pedidos em períodos de indisponibilidade do produtor e reencominhá-los quando o produtor retoma à rede [Lehmann et al. 2016].
3. **Usar a comunicação padrão NDN ou estendê-la** – Algumas abordagens usam a comunicação padrão: mapeamento dos nomes de dados persistentes e temporários de produtores móveis; detecção de degradação no sinal do *link* atual do produtor causado pelo movimento. Outras abordagens estendem o protocolo NDN, através de um esquema que usa âncoras roteáveis para rastrear o movimento do produtor [Lehmann et al. 2016].
4. **Técnicas não NDN para suporte à mobilidade** – Abordagens que fazem uso de técnicas contrárias aos princípios NDN propostos por [Jacobson et al. 2009]. É empregado o uso de outras tecnologias como roteamento guloso, que pode coexistir com o roteamento padrão NDN, combinado com pontos de indireção; SDN combinada com NDN para atualizar as FIBs globais e locais [Lehmann et al. 2016].

### 3. Cenário

Para realizar os experimentos, foi utilizado o ndnSIM<sup>1</sup> um simulador de ICN baseado no NS-3<sup>2</sup>. O ndnSIM é escrito em C++ e oferece uma plataforma de simulação comum e amigável, além disso, está em sincronia com a equipe de pesquisa NDN, o que resulta em uma combinação da plataforma de simulação com os mais recentes avanços da pesquisa NDN [Mastorakis et al. 2016].

O cenário dos experimentos consiste em seis nós. Dois Pontos de Acesso (APs – AP1 e AP2), dois roteadores (UFBA-rt1 e UFBA-rt2), um nó fixo denominado Nó-A e um nó móvel identificado com o número 5. A Figura 1 representa visualmente a topologia empregada. Foi usado a GUI *visualizer* e a topologia foi descrita em um arquivo `.txt`.

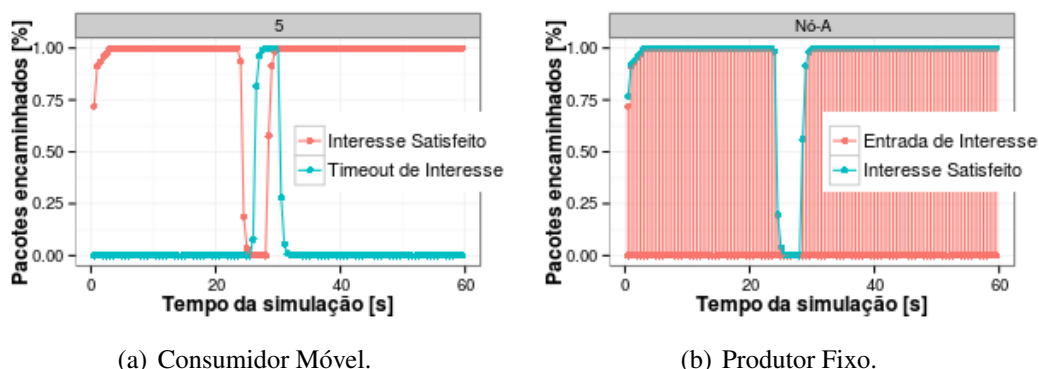


**Figura 1. Topologia da rede. Dois tipos de experimentos: (1) Nó 5 é o Consumidor móvel e o Nó-A é o Produtor fixo, e (2) o caso inverso.**

O consumidor requisita 100 interesses por segundo a uma frequência constante, para isso, foi utilizado a aplicação *ConsumerCbr* e o produtor irá responder aos interesses recebidos, através da aplicação *Producer*. Foi empregada a estratégia de encaminhamento

<sup>1</sup><http://ndnsim.net/2.3/>

<sup>2</sup><https://www.nsnam.org/>



(a) Consumidor Móvel.

(b) Produtor Fixo.

**Figura 2. Caso 1: Consumidor Móvel e Produtor Fixo**

*multicast* e a política de descarte LRU padrão. O tempo da simulação para cada caso foi de exatamente 60 segundos, tempo suficiente para o nó móvel 5 sair da rede do AP1 e se conectar a rede do AP2, efetuando o *handoff*.

Como o objetivo deste trabalho é evidenciar as diferenças da mobilidade do consumidor e do produtor sobre a NDN, em seu estágio atual, foi adotado apenas os recursos providos pelo simulador, assim, não estendemos suas funcionalidades, para não interferir na arquitetura padrão NDN, isto será feito em trabalhos futuros.

## 4. Experimentos

As avaliações realizadas, do impacto da mobilidade de nós em NDN, visam evidenciar através de experimentos as diferenças entre a mobilidade do consumidor e do produtor.

### 4.1. Impactos da mobilidade do consumidor

Para obter o comportamento do consumidor móvel na rede, foi realizado um experimento com o nó 5 (ver Figura 1) representando o consumidor móvel e o Nó-A representando o produtor fixo. Os impactos da mobilidade do consumidor podem ser observado na Figura 2. Na Figura 2(a) está representado os impactos da mobilidade sobre o consumidor e na Figura 2(b) sobre o produtor.

O consumidor móvel (Nó 5) inicialmente está conectado à rede do AP1 e se move em direção a rede do AP2. A Figura 2(a) mostra que a porcentagem de interesses satisfeitos tem uma queda brusca por volta do tempo 25, essa queda representa exatamente o momento em que o consumidor começa a perder o sinal do AP1 até o momento em que se reconecta à rede no AP2, ou seja, o período do *handoff*. Como reação a não obtenção de dados, nesse período de transição, o *timeout* de interesses se eleva inversamente proporcional à porcentagem de interesses satisfeitos. No entanto, apesar de haver uma queda na comunicação com o consumidor, a arquitetura da rede consegue restabelecê-la, pois logo após o consumidor se conectar ao AP2, reexpressa seus interesses a partir da sua nova rede. Assim, o *timeout* de interesses cai para zero novamente como consequência do restabelecimento da comunicação.

Na Figura 2(b), é possível observar os efeitos sobre o produtor fixo. Este responde a todos os interesses que consegue alcançá-lo. Essa pequena queda na comunicação, representa maiores prejuízos principalmente para aplicações em que atrasos são críticos.

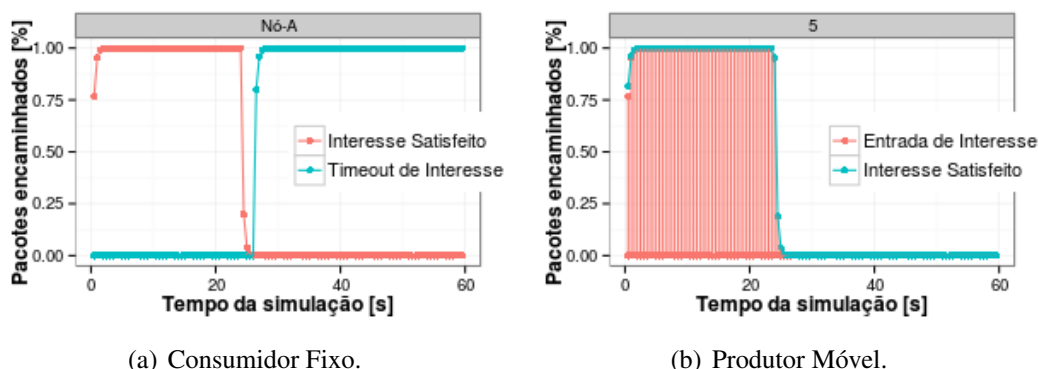


Figura 3. Caso 2: Consumidor Fixo e Produtor Móvel.

#### 4.2. Impactos da mobilidade do produtor

Por outro lado, para obter o comportamento do produtor móvel, foi realizado um experimento com o nó 5 (ver Figura 1) representando o produtor móvel e o Nó-A representando o consumidor fixo. Os impactos da mobilidade do produtor estão representado na Figura 3. A Figura 3(b) retrata as reações da mobilidade no produtor e a Figura 3(a) no consumidor.

O produtor móvel (Nó 5) inicialmente encontra-se na rede do AP1 e se desloca rumo ao AP2. A satisfação de interesses é mantida em sua totalidade até o momento em que produtor perde o sinal com o AP1 (Figura 3(b)). Neste ponto, por volta do tempo 25, a porcentagem de satisfação de interesses se degrada rapidamente atingindo o eixo zero, exatamente no período do *handoff*. O produtor se reconecta na rede do AP2, no entanto, a arquitetura não consegue provê o restabelecimento da comunicação neste caso, pois a comunicação parte do consumidor. Observando a Figura 3(a) nota-se que o consumidor continua a expressar interesses na rede, mas estes atingem constantemente o *timeout* a partir do momento que ocorre o *handoff* do produtor móvel.

Neste experimento, se torna evidente que a arquitetura da rede não dar suporte adequado aos produtores móveis. Assim, nessa direção alguns trabalhos recentes tem investigado mecanismos (como os descritos na Seção 2) para manter a satisfação de interesses elevada mesmo que o produtor seja móvel.

### 5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Diante das novas demandas da *Internet* surgiu a filosofia das ICNs, dentre as várias arquiteturas, a NDN tem ganhado destaque, mas ainda possui alguns problemas que necessitam de investigação, como o caso da mobilidade de nós. No entanto, estas abordagens se mostram de cunho experimental, o que torna difícil a sua reprodução em ambientes reais. Pois estas arquiteturas se diferem da arquitetura atual (TCP/IP) principalmente da camada de rede. Para facilitar pesquisas com essas novas redes pode-se empregar a técnica de simulação.

Nesse contexto, esse trabalho apresentou um breve reflexo do estado da arte relacionado a mobilidade de nós em Redes Centradas no Conteúdo. Um estudo comparativo entre a mobilidade do consumidor e a mobilidade do produtor foi apresentado para evidenciar os diferentes impactos causados na rede. Os resultados dos experimentos tornam

explícito a divergência nas formas com que a arquitetura da rede reage diante da mobilidade do consumidor e do produtor.

Diversas questões teóricas e práticas em ICN em geral e em NDN especificamente necessitam de uma melhor investigação, no entanto, para trabalhos futuros nos atentaremos as questões relacionadas à mobilidade de nós, nesse sentido enumeramos as seguintes:

- Suporte a mobilidade de produtores para aplicações de tempo real;
- Suporte a mobilidade de produtores e consumidores em paralelo.

## Referências

- Cisco (2016). Cisco Visual Networking Index (VNI) Update Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015-2020. Technical report, Cisco.
- Gao, S. and Zhang, H. (2016). Scalable Mobility Management for Content Sources in Named Data Networking. In *2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pages 79–84.
- Ge, J., Wang, S., Wu, Y., Tang, H., and E, Y. (2016). Performance improvement for source mobility in named data networking based on global–local FIB updates. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 9(4):670–680.
- Huynh, T., Priyono, O., Lee, S.-H., and Hwang, W.-J. (2017). Simultaneous mobility of data sources and content requesters in content-centric networking. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 10(1):31–44.
- Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H., and Braynard, R. L. (2009). Networking named content. In *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies - CoNEXT '09*, volume 6, pages 1–12. ACM Press.
- Lehmann, M. B., Barcellos, M. P., and Mauthe, A. (2016). Providing producer mobility support in NDN through proactive data replication. In *NOMS 2016 - 2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 383–391. IEEE.
- Liu, X., Li, Z., Yang, P., and Dong, Y. (2017). Information-centric mobile ad hoc networks and content routing: A survey. *Ad Hoc Networks*, 58:255–268.
- Mastorakis, S., Afanasyev, A., Moiseenko, I., and Zhang, L. (2016). ndnSIM 2: An updated NDN simulator for NS-3. Technical Report NDN-0028, Revision 2, NDN.
- Xylomenos, G., Ververidis, C. N., Siris, V. A., Fotiou, N., Tsilopoulos, C., Vasilakos, X., Katsaros, K. V., and Polyzos, G. C. (2014). A Survey of information-centric networking research. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(2):1024–1049.
- Zhang, L., Afanasyev, A., Burke, J., Jacobson, V., claffy, k., Crowley, P., Papadopoulos, C., Wang, L., and Zhang, B. (2014). Named data networking. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 44(3):66–73.
- Zhang, Y., Afanasyev, A., Burke, J., and Zhang, L. (2016). A survey of mobility support in Named Data Networking. In *2016 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pages 83–88. IEEE.