

Diferenciação de Serviços em Redes de Dados Nomeados: Novas Perspectivas através da Semântica de Nomeação, do Cache e da Manutenção de Estados

Francisco Renato C. Araújo^{1,2}, Leobino N. Sampaio¹ (Orientador)

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PGCOMP)
Instituto de Computação – Universidade Federal da Bahia (UFBA)

²Campus Avançado de Mombaça – Universidade Estadual do Ceará (UECE)

{franciscorca, leobino}@ufba.br, frenato.araujo@uece.br

Resumo. *O crescimento de aplicações com requisitos heterogêneos evidencia limitações das redes IP tradicionais para prover diferenciação de serviços e Qualidade de Serviço (QoS). Nesse cenário, as Redes de Dados Nomeados (NDN) introduzem um paradigma orientado ao conteúdo, com cache na rede, encaminhamento com estado e segurança por pacote, oferecendo novas perspectivas de gerenciamento de recursos. Contudo, a NDN não provê, por padrão, mecanismos de diferenciação, tratando o tráfego de forma indistinta e reduzindo o suporte a aplicações com demandas diversas. Este trabalho propõe mecanismos adaptativos de provisionamento de QoS em NDN, integrando semântica de nomeação, gerenciamento de cache e manutenção de estados. São desenvolvidos: (i) encaminhamento cooperativo para mitigação de inundação de interesses; (ii) balanceamento de carga centrado no conteúdo; e (iii) abordagem integrada de nomeação e cache para a diferenciação de serviços. Os mecanismos foram implementados e avaliados no ndnSIM em diferentes cenários, demonstrando que a integração entre componentes da NDN amplia a eficiência do provisionamento de QoS e o suporte a aplicações heterogêneas.*

Abstract. *The growth of applications with heterogeneous requirements highlights the limitations of traditional IP networks in providing service differentiation and Quality of Service (QoS). In this context, Named Data Networking (NDN) introduces a content-oriented paradigm, featuring in-network caching, stateful forwarding, and packet-level security, offering new perspectives for resource management. However, NDN does not natively provide differentiation mechanisms, handling traffic indistinctly and reducing support for applications with diverse demands. This work proposes adaptive QoS provisioning mechanisms for NDN by integrating naming semantics, cache management, and state maintenance. The following mechanisms are developed: (i) cooperative forwarding for mitigating interest flooding; (ii) content-centric load balancing; and (iii) an integrated naming and caching approach for service differentiation. The mechanisms were implemented and evaluated using ndnSIM in different scenarios, demonstrating that the integration among NDN components enhances QoS provisioning efficiency and support for heterogeneous applications.*

1. Introdução

As redes IP incorporaram mecanismos de Qualidade de Serviço (QoS) com o objetivo de oferecer tratamento diferenciado ao tráfego conforme os requisitos das aplicações [Clark 2018]. Duas abordagens principais foram propostas: Serviços Integrados (IntServ) e Serviços Diferenciados (DiffServ) [Oran 2021]. O IntServ baseia-se na reserva de recursos fim a fim e na manutenção de estado por fluxo em cada roteador, o que compromete a escalabilidade [Forouzan 2010]. O DiffServ utiliza classes de serviço e desloca o processamento para as bordas da rede, reduzindo a complexidade do núcleo [Forouzan 2010]. Embora tecnicamente viável, o DiffServ teve baixa adoção pelos provedores de serviço de Internet (ISPs) [Clark 2018, Li et al. 2020]. A falta de coordenação entre ISPs, os custos de implantação e a falta de interoperabilidade de políticas de QoS ao longo de múltiplos domínios resultaram em benefícios limitados e degradação de serviço esperado [Li et al. 2020]. Assim, a rede IP atual permanece predominantemente baseada no modelo de melhor esforço. A arquitetura de redes de dados nomeados (do inglês, *Named Data Networking* (NDN)) surge como uma alternativa promissora por incorporar recursos inexistentes no IP, como cache nativo na rede e encaminhamento com estado [Oran 2021]. Tais características ampliam o espaço de soluções para provisionamento de QoS, permitindo combinar gerenciamento de banda e de filas com funcionalidades próprias da NDN [Gündoğan et al. 2020]. Como a arquitetura NDN ainda não foi amplamente implantada, há oportunidade para projetar mecanismos de QoS alinhados a seus princípios. Iniciativas como o grupo ICNRG do IRTF têm produzido diretrizes para QoS em NDN. Contudo, os trabalhos concentram-se em aspectos específicos e permanecem em nível conceitual. Persistem lacunas quanto a mecanismos práticos e integrados de diferenciação de serviços.

Embora a NDN ofereça vantagens para recuperação eficiente de conteúdos, o tratamento do tráfego ainda segue essencialmente o modelo de melhor esforço [Ambalavanan et al. 2022]. Aplicações atuais apresentam requisitos heterogêneos de latência, vazão e confiabilidade, e mecanismos efetivos de priorização em NDN ainda constituem um desafio em aberto [Gündoğan et al. 2020]. Modelos inspirados no IntServ mostram-se inadequados, pois a NDN dificulta a identificação de fluxos tradicionais devido à agregação de interesses (requisições), ao cache na rede e à natureza multi-origem/multi-destino dos caminhos. Abordagens análogas ao DiffServ também não exploram plenamente os recursos nativos da arquitetura [Gündoğan et al. 2020]. Os trabalhos da literatura têm investigado soluções pontuais, baseadas em estratégias de encaminhamento, roteamento adaptativo ou políticas de cache, geralmente de forma isolada. Contudo, a QoS em NDN depende de interação entre três dimensões fundamentais: semântica de nomeação, gerenciamento de cache e manutenção de estados de encaminhamento. Diante desse contexto, a tese aborda o seguinte problema central: *Como explorar a semântica de nomeação, o cache e a manutenção de estados da NDN para prover diferenciação de serviços e suporte à QoS em diferentes cenários de rede?*

2. Objetivos e Questões de Pesquisa

No contexto apresentado, o objetivo geral da tese é projetar, implementar e avaliar um conjunto de mecanismos adaptativos para diferenciação de serviços em NDN, baseados na utilização da semântica de nomeação, no cache sensível aos requisitos das aplicações e na manutenção de estados, com o propósito de aprimorar o provisionamento de QoS e

o suporte a aplicações heterogêneas. Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos (OE):

- OE1:** Propor um mecanismo adaptativo e cooperativo de controle de tráfego em redes NDN sem fio, baseado na manutenção de estado de encaminhamento, para reduzir a inundação de requisições e aumentar a eficiência da rede;
- OE2:** Propor um mecanismo de balanceamento de carga dinâmico e centrado no conteúdo em redes NDN, para otimizar o uso de recursos e melhorar a entrega diferenciada de conteúdo;
- OE3:** Propor uma abordagem integrada de mecanismos de diferenciação de serviços em redes NDN, combinando semântica de nomeação e gerenciamento de cache, para melhorar o provisionamento de QoS e o desempenho de aplicações heterogêneas.

Os três objetivos específicos ilustram a progressão da trajetória de pesquisa, do controle de disseminação de pacotes em redes NDN no ambiente sem fio *ad hoc* (OE1), passando pelo balanceamento de carga em redes cabeadas (OE2) e pela integração de mecanismos para provisionamento de QoS (OE3). Cada objetivo contribuiu de forma incremental para consolidar a hipótese central de que a integração entre semântica de nomeação, cache e manutenção de estados é uma base sólida para a diferenciação de serviços em NDN.

2.1. Questões de Pesquisa

Para orientar a investigação e decompor o problema em dimensões específicas, as questões de pesquisa (QP) da tese foram organizadas de acordo com o tipo de cenário de rede, sem fio e cabeado, refletindo as diferentes condições de comunicação em cada ambiente.

■ Cenário de rede sem fio:

- **QP1:** *De que forma a manutenção de estado de encaminhamento da NDN pode ser explorada por mecanismos adaptativos e cooperativos de controle de tráfego para reduzir o impacto da inundação de requisições em ambientes sem fio?*

Esta questão direciona a investigação para cenários de comunicação sem infraestrutura fixa, incluindo ambientes *ad hoc*, onde a topologia é dinâmica e o controle do tráfego de requisições (pacotes de interesse), legítimo e malicioso, é essencial para reduzir redundância e preservar os recursos da rede. Esta questão originou os trabalhos de [Araújo et al. 2019b, Araújo et al. 2023].

- **QP2:** *Como o cache oportunístico e cooperativo pode ser explorado para suportar a mobilidade de nós produtores e consumidores em NDN, garantindo a continuidade da entrega de conteúdo e reduzindo a latência de acesso?*

Esta questão trata do uso do cache como suporte à mobilidade, permitindo o compartilhamento dinâmico de dados entre os nós, de modo a preservar a continuidade de serviço e reduzir atrasos de recuperação de dados. Esta questão originou o trabalho de [Araújo et al. 2019a], que não é discutido diretamente na tese. Partes de suas contribuições foram ampliadas e incorporadas em [Araújo and Sampaio 2025]. Portanto, a **QP2** contribuiu para a consolidação dos fundamentos de políticas de cache que influenciaram os mecanismos propostos.

■ Cenário de rede cabeada:

- **QP3:** *Como o balanceamento de carga dinâmico e centrado no conteúdo pode contribuir para o uso eficiente de recursos e a entrega diferenciada de conteúdo, considerando a natureza distribuída e cooperativa da NDN?*

Esta questão explora o papel das estratégias de distribuição de carga baseadas em conteúdo e no tipo de conteúdo trafegado, avaliando seus efeitos na eficiência do uso da rede e no desempenho das classes de serviço. Esta questão originou o trabalho de [Araújo et al. 2021].

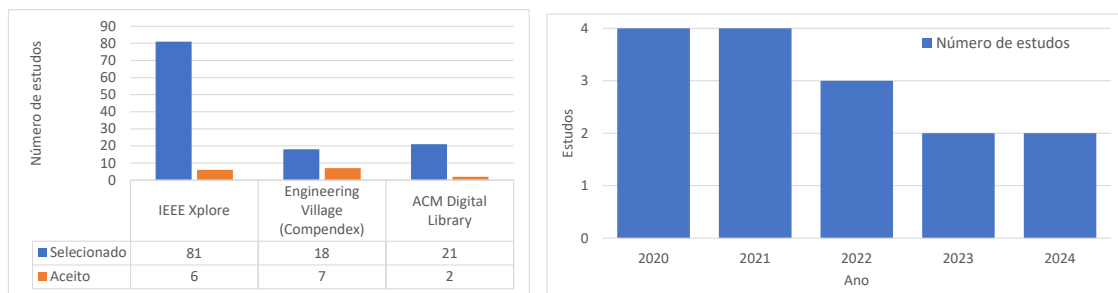
- **QP4:** *Como mecanismos integrados de diferenciação de serviços e gerenciamento de cache podem ser utilizados para provisionar QoS em NDN, considerando múltiplas classes de serviço e condições dinâmicas de rede?*

Esta questão aborda o núcleo da tese, concentrando-se na integração entre semântica de nomeação, manutenção de estados e gerenciamento de cache para o provisionamento de QoS em redes NDN com topologias estáveis e enlaces cabeados. Esta questão originou o trabalho de [Araújo and Sampaio 2025].

Essas quatro questões estruturam a base conceitual e experimental da tese. Elas sustentam a hipótese de que a integração entre semântica de nomeação, cache sensível aos requisitos das aplicações e manutenção de estados pode viabilizar uma abordagem mais eficiente para a diferenciação de serviços em NDN, tanto em ambientes cabeados quanto em ambientes sem fio, promovendo avanços teóricos e práticos na área de redes de dados nomeados.

3. Metodologia

Nesta seção são apresentados os métodos científicos empregados no desenvolvimento da tese. Nesse sentido, para responder às questões de pesquisa levantadas e endereçar os objetivos definidos, foram realizados mapeamentos sistemáticos da literatura sobre as temáticas centrais de encaminhamento e cache e, em seguida, foi realizada uma revisão sistemática da literatura englobando QoS em NDN (Capítulo 3 da tese). A Figura 1 apresenta as bases de dados utilizadas (*IEEE Xplore*, *ACM Digital Library* e *Engineering Village (Compendex)*) com os estudos selecionados e aceitos (Figura 1(a)) e a distribuição anual dos 15 estudos incluídos na revisão (Figura 1(b)).



(a) Estudos por base de dados.

(b) Distribuição dos 15 estudos incluídos na revisão.

Figura 1. Estudos da revisão sistemática da literatura.

Uma vez que a NDN possui uma arquitetura de rede diferente da rede IP, os elementos de rede atuais não implementam sua pilha de protocolos. Dada essa limitação de equipamentos reais, a tese emprega a técnica de simulação como abordagem para a validação da proposta. O simulador oficial do projeto NDN, ndnSIM [Mastorakis et al. 2017], foi utilizado no desenvolvimento e na validação dos mecanismos propostos.

4. Publicações e Contribuições

4.1. Produção Científica

A produção científica gerada durante o desenvolvimento da tese foi publicada em periódicos internacionais e em conferências e capítulo de livro nacionais. A Tabela 1 apresenta as 12 publicações obtidas, que juntas totalizam 155 citações no Google Scholar (GS). Também são apresentados o Qualis e o Fator de Impacto (FI) das publicações.

Tabela 1. Publicações obtidas durante o doutorado.

	#	Trabalho	Tipo	Local	Citações GS	Qualis / FI
Primeiro autor	1	[Araújo and Sampaio 2025]	Conferência	SBRC 2025	0	A4 / –
	2	[Araújo et al. 2023]	Periódico	IEEE TMC	27	A1 / 9,2
	3	[Araújo et al. 2021]	Conferência	SBRC 2021	1	A4 / –
	4	[Araújo et al. 2019a]	Periódico	Comput. Netw.	34	A1 / 4,6
	5	[Araújo et al. 2019b]	Conferência	SBRC 2019	3	A4 / –
Coautor	6	[Sampaio et al. 2021]	Capítulo	SBRC 2021	7	– / –
	7	[Madureira et al. 2021]	Periódico	IEEE TNSM	20	A2 / 5,4
	8	[Madureira et al. 2020a]	Conferência	SBRC 2020	2	A4 / –
	9	[Madureira et al. 2020c]	Conferência	SBRC 2020	1	A4 / –
	10	[Madureira et al. 2020b]	Periódico	Comput. Netw.	56	A1 / 4,6
	11	[Sousa et al. 2019]	Conferência	SBRC 2019	2	A4 / –
	12	[Stefani et al. 2019]	Conferência	SBRC 2019	2	A4 / –

Nota: classificação Qualis, conforme a área de Ciência da Computação (quadriênio vigente). Perfil do autor no Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/citations?user=ksaLm08AAAAJ>. Acesso em: 31 jan. 2026.

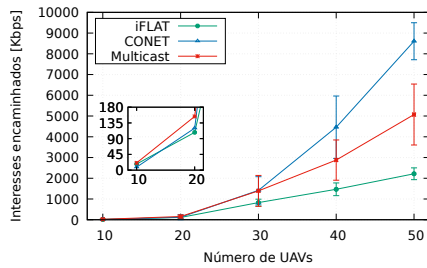
4.2. Mecanismo de Encaminhamento em NDN Sem Fio

Em redes sem fio, a arquitetura NDN amplia a disponibilidade de conteúdos através da comunicação por *multicast*, do encaminhamento com estado e do cache em nós intermediários. Apesar dos benefícios, enfrenta o problema da inundação de pacotes (*flooding*), que não é tratada de forma eficaz pelas estratégias de encaminhamento atuais. A inundação de pacotes pode ocorrer de forma nativa (*broadcast storm*) ou maliciosa (ataque por interesses falsos (*Interest Flooding Attack* (IFA))). Nesse sentido, para mitigar o problema apresentado, esta seção apresenta o iFLAT (*interest FLooding mitigATion*), um mecanismo de encaminhamento multicritério baseado em uma abordagem *cross-layer*, que considera: (i) a intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength* (RSS)); (ii) o tráfego da rede (*meInfo*); e (iii) uma lista de bloqueio de interesses falsos (*Blocklist*). Assim, o iFLAT trata simultaneamente a inundação nativa e maliciosa em NDN sem fio.

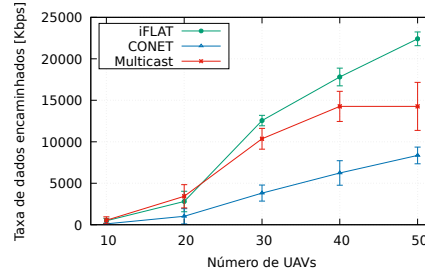
4.2.1. Avaliação Experimental

O mecanismo iFLAT foi avaliado em uma rede *Flying Ad hoc Network* (FANET) composta por veículos aéreos não tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs)) habilitados com a pilha NDN. O iFLAT foi comparado às estratégias *Multicast*, nativa do ndnSIM, CONET [Ahmed et al. 2016] e *InterestFence* [Dong et al. 2020], considerando cenários com e sem ataques IFA. Os resultados de simulação demonstram que o iFLAT detecta e mitiga a inundação de interesses de forma eficaz, alcançando maior eficiência no encaminhamento de pacotes em comparação às estratégias avaliadas. Em cenários de *broadcast*

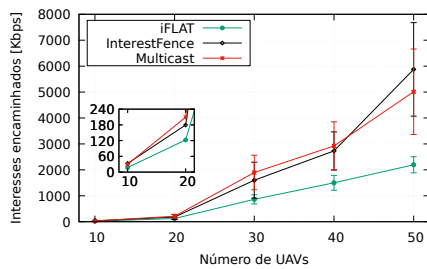
storm, obteve redução da inundação de até 25,75% e de até 37,37% em cenário de IFA. A Figura 2 mostra o tráfego de pacotes nos cenários de *broadcast storm* e IFA. O iFLAT reduz o tráfego de interesse nos dois cenários (Figuras 2(a) e 2(c)), conforme a rede cresce, ainda mantendo maior taxa de recuperação de dados (Figuras 2(b) e 2(d)).



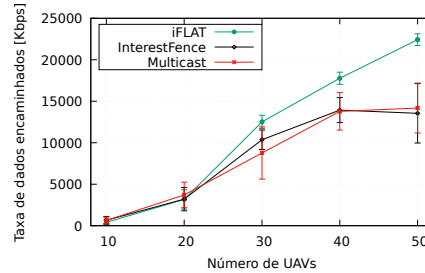
(a) Tráfego de interesse com *broadcast storm*.



(b) Tráfego de dados com *broadcast storm*.



(c) Tráfego de interesse no cenário de IFA.



(d) Tráfego de dados no cenário de IFA.

Figura 2. Tráfego de pacotes com *broadcast storm*, (a) e (b), e IFA, (c) e (d).

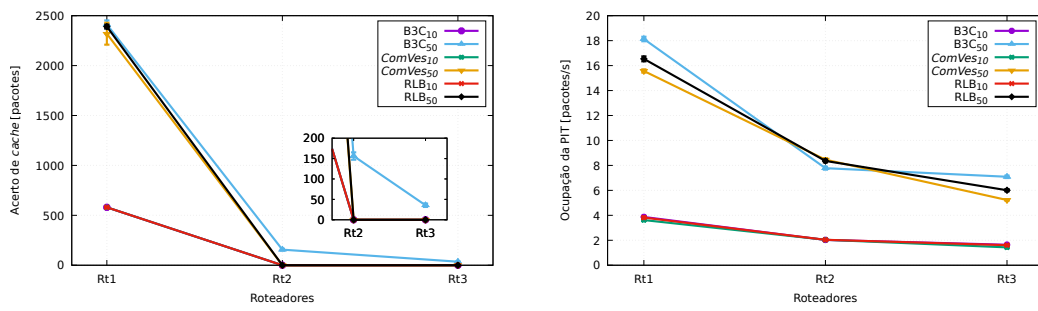
Contribuição: Um mecanismo adaptativo de encaminhamento para NDN sem fio que reduz a inundação de requisições, tanto legítimas quanto maliciosas, aumentando a eficiência da rede e a taxa de satisfação de interesses em ambientes *ad hoc*. Responde QP1 e alcança OE1.

4.3. Mecanismo de Balanceamento de Carga em NDN

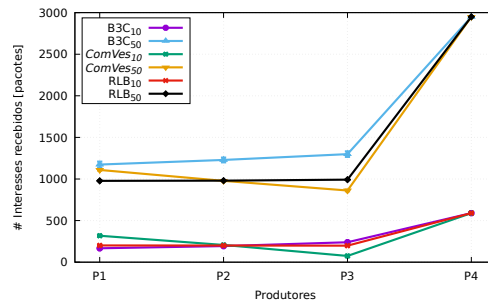
Em NDN, o modelo de encaminhamento baseado em nomes beneficia predominantemente as aplicações de conteúdos estáticos (i.e., conteúdo). Enquanto interesses para conteúdos dinâmicos (i.e., serviços) tendem a não ser satisfeitos em caches, pois são gerados sob demanda e exclusivos ao par de nós comunicantes. Além disso, estratégias de encaminhamento convencionais não conseguem distribuir os interesses para serviço entre as réplicas disponíveis, tornando necessária a implementação de mecanismos de balanceamento de carga para manter o equilíbrio da carga de trabalho entre as réplicas do provedor de serviço. Neste contexto, esta seção apresenta o mecanismo B3C (Balanceamento de Carga Centrado no Conteúdo). O B3C foi projetado como uma estratégia de balanceamento de carga em NDN capaz de lidar com interesses para conteúdo e serviço. Ao utilizar o B3C, cada roteador pode tomar decisões de balanceamento individualmente, considerando suas informações locais, sem injetar tráfego de controle na rede.

4.3.1. Avaliação Experimental

O B3C foi avaliado em uma rede cabeada (Figura 5.2 da tese) e comparado às estratégias *ComVes* [Mansour et al. 2020] e RLB [Al Fuad et al. 2017], em dois cenários: (i) carga de 10 interesses por seg., por consumidor, e (ii) 50 interesses por seg. A Figura 3(a) reflete o tráfego de interesse para conteúdo (acerto de cache). O roteador de borda Rt1 alcançou o maior acerto de cache, satisfazendo todas as requisições no cenário 1 e boa parte delas no cenário 2. Contudo, no cenário 2, Rt2 e Rt3 apresentaram acerto de cache apenas com o B3C. Evidenciando que o B3C conseguiu balancear o tráfego entre as rotas na rede. A Figura 3(b) mostra a ocupação da PIT dos roteadores. Novamente, com o B3C, há uma redução na ocupação da PIT de Rt2 e aumento em Rt3, evidenciando a utilização do caminho auxiliar via Rt3. A Figura 3(c) mostra que o B3C distribuiu a carga também entre os produtores (réplicas), enquanto a *ComVes* sobrecarrega P1 em relação a P3.



(a) Média de acertos no cache de interesses para conteúdo em cada roteador. (b) Taxa de ocupação da PIT dos roteadores.



(c) Média de interesses recebidos por produtor (P1 a P3 são réplicas do mesmo serviço).

Figura 3. Média de acertos no cache de interesses para conteúdo, taxa de ocupação da PIT dos roteadores e interesses recebidos pelo produtor.

Contribuição: Um mecanismo de balanceamento de carga baseado no conteúdo, capaz de ajustar dinamicamente a distribuição de interesses e de melhorar o desempenho de múltiplas classes de serviço. Responde **QP3** e alcança **OE2**.

4.4. Abordagem de Diferenciação de Serviços e Gerenciamento de Cache em NDN

As redes NDN desvinculam os dados de sua localização por meio da nomeação exclusiva e operam no modelo de melhor esforço, limitando o suporte a aplicações que exigem QoS. O cache da NDN expande os recursos gerenciáveis, mas as políticas tradicionais de cache

não atendem aos requisitos de QoS. Neste contexto, esta seção apresenta a política de cache DSPPC (*Differentiated Services and Popularity Probabilistic Cache*), que considera a popularidade dos dados e sua classe de serviço nas ações de gerenciamento do cache. Também apresenta o mecanismo `nds` (abreviação de *Named-data Differentiated Services* (NDiffServ)), formato TLV (*Type-Length-Value*), para codificação de QoS diretamente no nome dos pacotes, o que amplia o uso da semântica de nomeação da NDN.

4.4.1. Avaliação Experimental

A política DSPPC foi comparada à ARC-QoS [Singh and Sarma 2021] e LRU (padrão do `ndnSIM`), nas topologias Dumbbell (gargalo com maior competição por recursos) e Abilene (menor competição por recursos). Na Figura 4(a), observa-se que o roteador Rt1 (borda dos consumidores) alcançou um acerto de cache de ≈ 45 pacotes de dados por seg., destacando a eficiência da política DSPPC em armazenar e recuperar dados localmente. Já o roteador Rt2 obteve um acerto próximo de 5 pacotes por seg. (pps), refletindo a influência do gargalo nos enlaces e da distância em saltos em relação à borda. Nas políticas ARC-QoS (Figura 4(b)) e LRU (Figura 4(c)), o desempenho do roteador Rt1 foi inferior, com acertos de cache de ≈ 25 pps, evidenciando a menor eficiência dessas políticas comparadas à DSPPC. A Figura 4(d) resume os resultados do acerto de cache por política. A política DSPPC obteve um total de acerto de cache de ≈ 12 pps, superando as políticas ARC-QoS e LRU, que registraram resultados similares de cerca de 7,5 pps.

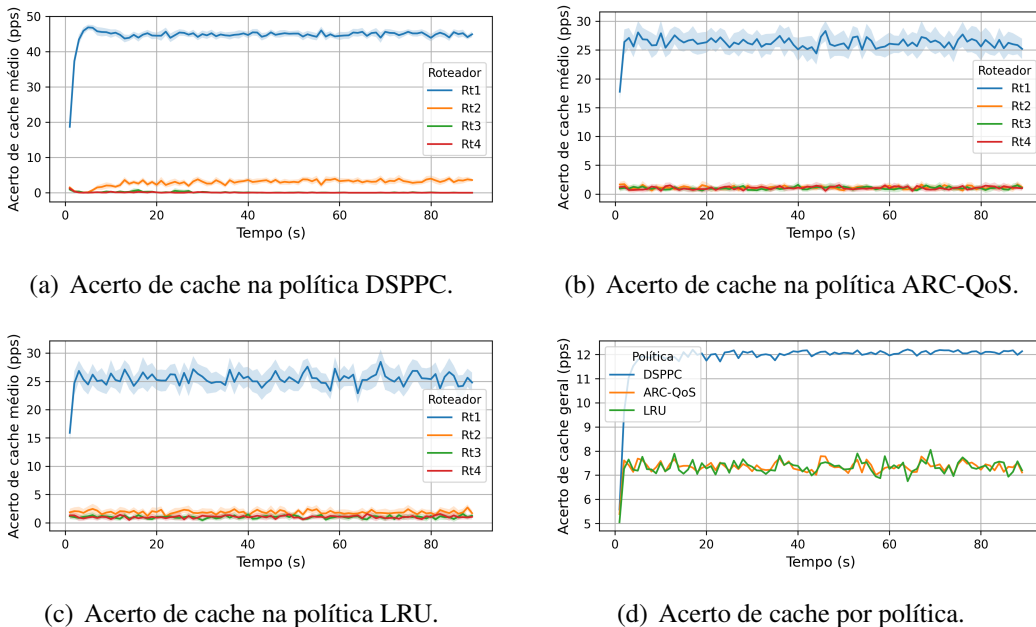


Figura 4. Taxa de acerto de cache nos roteadores na topologia Dumbbell.

Na topologia Abilene, com a política DSPPC (Figura 5(a)), o roteador Rt8 atingiu ≈ 45 pps de acerto de cache, correspondendo a 90% de sua capacidade, desempenho superior ao obtido com LRU, cerca de 38 pps (Figura 5(c)), e com ARC-QoS, cerca de 33 pps (Figura 5(b)). Esse resultado está relacionado à posição de Rt8 como roteador de borda dos consumidores C6 e C5, que requisitaram dados das classes de maior prioridade

nos experimentos (EF e AF42). O roteador Rt5 apresentou o segundo melhor desempenho por ser o próximo salto de Rt8 em direção ao produtor P3, alcançando cerca de 20 pps com ARC-QoS, 18 pps com LRU e 5 pps com DSPPC. Com a política DSPPC, Rt5 armazenou os 10% restantes do catálogo solicitado por C6, enquanto Rt8 absorveu quase integralmente a carga de 50 pps destinada a P3. Destaca-se que o parâmetro $\beta > 1$ pode aumentar a sensibilidade da DSPPC à frequência de acesso, influenciando o desempenho. Os demais roteadores mantiveram acertos inferiores a 8 pps em todas as políticas. Em termos médios (Figura 5(d)), a DSPPC obteve cerca de 5 pps, valor próximo aos 6 pps de ARC-QoS e LRU, indicando que, mesmo em cenário de baixa competição, a DSPPC prioriza a classe EF sem comprometer significativamente o acerto global.

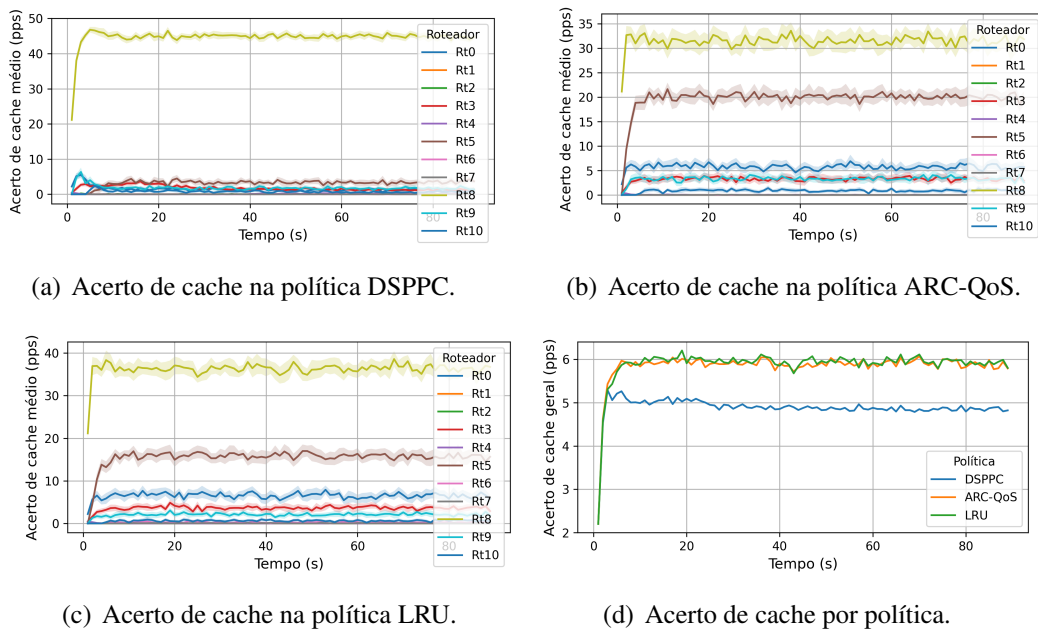


Figura 5. Taxa de acerto de cache nos roteadores com a topologia Abilene.

Contribuição: Uma abordagem de diferenciação de serviços para NDN, que combina semântica de nomeação e gerenciamento de cache, demonstrando melhorias significativas na provisão de QoS e no desempenho de aplicações heterogêneas. Responde QP4 e alcança OE3.

5. Considerações finais

Este trabalho demonstrou que, embora a arquitetura NDN ofereça recursos nativos relevantes, como encaminhamento com estado, cache na rede e comunicação orientada a conteúdo, ela não provê, por padrão, mecanismos de diferenciação de serviços capazes de atender às aplicações com requisitos heterogêneos de QoS. Para suprir essa lacuna, foram propostos e avaliados mecanismos adaptativos que integram a semântica de nomeação, o gerenciamento de cache e estados de encaminhamento, contemplando controle de tráfego em redes sem fio, balanceamento de carga com suporte a classes de serviço e gerenciamento de cache orientado à QoS. Os resultados obtidos em simulações no ndnSIM indicaram desempenho superior às abordagens avaliadas, evidenciando que a exploração dos componentes da NDN amplia a eficiência do provisionamento de QoS e o suporte

a aplicações diversas. Assim, o trabalho contribui para o avanço da arquitetura ao apresentar soluções práticas e fundamentadas para a diferenciação de serviços, estabelecendo bases para investigações futuras e para a evolução da Internet do futuro.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), processo nº 88882.453904/2019-01.

Referências

- Ahmed, S. H., Bouk, S. H., Yaqub, M. A., Kim, D., and Gerla, M. (2016). CONET: Controlled data packets propagation in vehicular Named Data Networks. In *2016 13th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC)*, pages 620–625.
- Al Fuad, M. A., Sabuj, M. S. S., Hasan, M. Z., and Naznin, M. (2017). RLB: Randomized load balanced packet forwarding strategy in name based data networking. In *2017 4th International Conf. on Networking, Systems and Security (NSysS)*, pages 1–4. IEEE.
- Ambalavanan, U., Nayak, N., Grewe, D., and Mohan, N. (2022). Resource reservation in information centric networking. In *Proceedings of the 9th ACM Conference on Information-Centric Networking, ICN '22*, page 165–167, New York, NY, USA. ACM.
- Clark, D. D. (2018). *Designing an Internet*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Dong, J., Wang, K., Quan, W., and Yin, H. (2020). InterestFence: Simple but Efficient Way to Counter Interest Flooding Attack. *Computers & Security*, 88:101628.
- Forouzan, B. A. (2010). *Comunicação de Dados e Redes de Computadores*. McGraw Hill, Porto Alegre, 4 edition.
- Gündoğan, C., Pfender, J., Kietzmann, P., Schmidt, T. C., and Wählisch, M. (2020). On the impact of QoS management in an Information-centric Internet of Things. *Computer Communications*, 154:160–172.
- Li, Y., Xie, H., Lui, J. C. S., and Calvert, K. L. (2020). Quantifying Deployability and Evolvability of Future Internet Architectures via Economic Models. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 28(5):1995–2008.
- Mansour, D., Osman, H., and Tschudin, C. (2020). Load Balancing in the Presence of Services in Named-Data Networking. *Journal of Network and Systems Management*, 28:298–339.
- Mastorakis, S., Afanasyev, A., and Zhang, L. (2017). On the Evolution of ndnSIM: An Open-Source Simulator for NDN Experimentation. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 47(3):19–33.
- Oran, D. R. (2021). Considerations in the Development of a QoS Architecture for CCNx-Like Information-Centric Networking Protocols. RFC 9064.
- Singh, P. and Sarma, N. (2021). Adaptive Replacement Cache with Quality of Service for Delay Sensitive Applications in Named Data Networking. In *2021 IEEE 18th India Council International Conference (INDICON)*, pages 1–6.