

Comunicação Fim-a-Fim Altamente Confiável e de Baixa Latência entre UEs Móveis no Contexto de 5G/B5G via *Multipath Slices* Elásticas

Italo Tiago da Cunha^{1,3}, Eduardo Castilho Rosa^{2,3}, Flávio de Oliveira Silva³

¹Unid. Acad. de Ciências Exatas – Univ. Fed. de Jataí (UFJ) – Jataí – GO

²Depto. de Ciência da Computação – Inst. Fed. Goiano (IFGoiano) – Catalão – GO

³Fac. de Comp. (FACOM) – Univ. Fed. de Uberlândia (UFU) – Uberlândia – MG

italo@ufj.edu.br, eduardo.rosa@ifgoiano.edu.br, flavio@ufu.br

Abstract. *In 5G, Ultra-Reliable Low-Latency Communication - URLLC stands out for reliability and speed with communication. However, there is much to be done and updated in hardware and software. In this context, the use of SDN and NFV in networks led to the feasibility of the use of logical networks “Network Slices” (NS). But costs inherent in time, band, etc., can compromise the use of available techniques. Because of this, the thesis is presented that it is possible to increase reliability, keeping low communication latency, with minimal impacts on networks through multipath slices. Thus, copies of packets will be forwarded through different paths and alternately between them to provide the essence of URLLC.*

Resumo. *Em 5G, URLLC se destaca pelos aspectos de confiabilidade e rapidez para com a comunicação. No entanto, há muito a ser feito e mesmo, atualizado - tanto em hardware quanto em software. Neste contexto, o emprego de SDN e NFV em redes, suscitou a viabilização do uso de redes lógicas “Network Slices” (NS). Mas custos inerentes a tempo, banda etc, podem comprometer o emprego de técnicas disponíveis. Diante disto, apresenta-se a tese de que é possível incrementar a confiabilidade, mantendo baixa a latência de comunicação, com mínimos impactos nas redes; isto por meio do emprego de multipath slices. Assim, cópias de pacotes serão encaminhadas por caminhos distintos e mesmo, alternadamente entre estes, no intuito de prover a essência de URLLC.*

1. Introdução

Nos dias atuais, uma tecnologia que tem despontado como muito promissora, em especial por aquilo que pode vir a possibilitar, é a 5G [O’Connell et al. 2020]. Destaca-se que a 5G é a que mais disponibiliza e disponibilizará inovações; como transmissões de vídeo em tempo real, integração com computação em nuvem e compatibilidade com a Internet das Coisas - IoT. Ainda, é esta tecnologia 5G que está permitindo que se obtenha êxito na concepção e implantação de roupas imbuídas de tecnologia, monitores de saúde, veículos autônomos, *smart cities*, Indústria 4.0 etc [O’Connell et al. 2020]. Ressalta-se que isso é possível graças a amplitude da tecnologia e, por meio de *Network Slices* - NS.

Assim, NS atua como um facilitador para serviços personalizados sob demanda em redes com recursos limitados, possibilitando a utilização ideal destes tanto em ambientes estáticos, quanto móveis. Ou seja, NS permite que vários serviços personalizados

sob demanda possam ser atendidos por uma mesma rede física, em que nesta os recursos podem ser alocados dinamicamente por meio de fatias lógicas “slices” de acordo com requisitos de qualidade de serviço “Quality of Service - QoS”, por exemplo.

Por fim, algo muito almejado e que ainda requer muito trabalho por parte da comunidade, diz respeito ao provimento de uma comunicação confiável e com um tempo de atraso muito pequeno “baixa latência”. Comunicações estas em muitos casos, empregadas em aplicações de missão crítica, entre as quais a Internet industrial, redes inteligentes, cirurgias remotas e sistemas de transporte inteligentes “comunicações com veículos, trens de alta velocidade”, *drones* e robôs industriais. Pois, não há um único padrão de *consumo* para aplicações deste tipo, haja vista, as especificidades.

2. Trabalhos Relacionados

Após revisão bibliográfica, filtrou-se os trabalhos que entende-se serem os mais correlatos à este, priorizando os que dispunham de informações pertinentes à tecnologia de encaminhamento de pacotes. Daí advém o Quadro 1. Para melhor compreensão, MP, DC e MC, são as respectivas siglas para: *multipath*, *dual connectivity* e *multi-connectivity*.

Quadro 1 - Relação dos principais trabalhos correlatos.

Aborda URLLC?			Multi/Single Domain?			Simulado?		
Ano de Publicação:			MP / DC / MC?			Vínculos:		
Autoria:			Aborda NS?			Fabric.?	Operad.?	
2019	ISLAMBOULI <i>et al.</i>	Muito	Pouco	MP	---	✗	✗	✓
2019	MAHMOOD <i>et al.</i>	Muito	✗	MC	SD	Nokia	✗	---
2020	GEBERT; WICH	Pouco	✗	DC	M	Nokia	✗	✓
2020	CENTENARO <i>et al.</i>	Muito	✗	DC	SD	Nokia	✗	✓
2020	SHAHRIAR <i>et al.</i>	✗	Muito	MP	---	Huawei	✗	✓
2020	SWEIDAN <i>et al.</i>	Muito	Muito	MP	---	✗	✗	✓

Sobretudo, cabe destacar que não se observou em muitos dos trabalhos, informações referentes a utilização ou não de componentes proprietários ou mesmo, quanto as ferramentas. Os parágrafos seguintes trazem a ideia de cada um destes.

No intuito de obter alta confiabilidade e baixa latência, [Islambouli et al. 2019] fazem uso de mais de uma interface de rede, rede e caminho por *User Entitie* ou, *User Equipment* - UE, para o envio de pacotes, com destaque para duplicatas de *fragmentos* de pacotes. Ressalta-se que neste cenário, não há apenas uma alocação excessiva de recursos, mas pode haver também um consumo considerável de recursos, como bateria e dados.

Já o trabalho de [Mahmood et al. 2019], o qual conta com colaboradores da *Nokia Bell Labs' Denmark*, provê segundo os autores, uma análise completa de MC. Em particular, a melhoria da confiabilidade com MC, medida em termos de ganho de probabilidade de interrupção, o que é obtido analiticamente. Além disso, o custo operacional do MC em termos de utilização de recursos também é analisado. Inclusive, os autores exploram questões pertinentes a HARQ e PDCP, apresentando formalizações matemáticas. Num apanhado geral, [Mahmood et al. 2019] enfatizam que o preço a pagar pela maior confiabilidade com MC é, quase o dobro se comparado a *single-connectivity* no que tange a re-

recursos e sobrecarga de sinalização adicional. Ponderou-se entretanto, que a eficiência dos recursos não é o principal indicador de desempenho para muitas aplicações que exigem alta confiabilidade. No entanto, isso desperta uma forte motivação para que sejam investigados esquemas de MC mais eficientes em termos de recursos. Desta feita, apresenta-se o presente trabalho, o qual pretende otimizar os recursos ao se tentar prover comunicação altamente confiável e de baixa latência.

Por sua vez, [Gebert and Wich 2020], pesquisadores do *Nokia Bell Labs Stuttgart*, valeram-se de *survival time* para conceber um novo esquema de comunicação “*Alternating Transmission - AT*”, o qual possibilita o envio alternado de pacotes, quer seja por meio de DC ou *carrier aggregation*. Cabe ressaltar que tanto na transmissão alternada de pacotes via DC e *carrier aggregation*, não há *duplicação* de pacotes e que o trabalho não aborda URLLC e NS. E por meio dos resultados obtidos, pode ser interessante a aplicação de AT no contexto de URLLC, combinado com *multipath slices*.

Já [Centenaro et al. 2020] abordam DC em *downlink*, propondo dois mecanismos que ‘previnem’ transmissões duplicadas desnecessárias, de modo a otimizar o espectro. Pois, segundo estes, há ineficiências de duplicação no protocolo PDCP, e a necessidade de se reduzir a quantidade de recursos de *rádio* empregados para transportar duplicatas de pacotes desnecessárias. Ainda, cabe observar que os mecanismos buscam dar redundância de transmissão apenas na extremidade de uma comunicação; e que o texto não permite abstrair se há algo de duplicação ao longo de um caminho *End-to-End - E2E*.

Quanto ao trabalho de [Shahriar et al. 2020], suportado em parte pela Huawei, os mesmos apresentam uma solução no contexto de *Elastic Optical Network - EON*, haja vista segundo estes, esta ser uma excelente escolha para o estabelecimento de NS de transporte, graças à sua capacidade de personalizar os recursos de rede com base nos requisitos de serviço. Ainda, os autores evidenciam que a confiabilidade, via proteção dedicada possibilita uma comutação rápida na casa de milissegundos frente a *failover*. No entanto, requer uma grande quantidade de recursos, em especial, de *backup* “no caso, uma *slice*”. Pois estes, permanecem ociosos durante operações sem falhas.

Diante disto, no intuito de prover confiabilidade, [Shahriar et al. 2020], propõem a incorporação de duas técnicas para reduzir os recursos de *backup*: (i) elasticidade de largura de banda, ou seja, o ajuste da quantidade de largura de banda garantida em caso de falhas para um valor mínimo; e (ii) provisionamento de múltiplos caminhos alternativos - restrito ao âmbito EON. Assim, o trabalho simulado apresenta contribuições interessantes, em especial no formalismo, mas que não compreende a comunicação E2E.

No tocante ao trabalho simulado de [Sweidan et al. 2020], que é uma extensão ao trabalho de [Islambouli et al. 2019], as autoras abordam um modelo de rede mais geral e prático, que sirva para várias aplicações, no intuito de identificar caminhos específicos na rede como parte de uma *slice* dedicada que satisfaça rigorosos requisitos de desempenho. Para tanto, utilizaram como estudo de caso uma *Core Network - CN* de uma fábrica; bem como relacionam muito URLLC com Indústria 4.0. Num âmbito mais geral, o objetivo é maximizar a quantidade de fluxos admitidos por aplicações, levando em consideração diferentes requisitos, tanto de atraso, quanto de confiabilidade, inerente às aplicações URLLC em curso. Diferentemente do trabalho aqui ora proposto, [Sweidan et al. 2020] não se valeram de *slices* contendo réplicas de pacotes e mesmo, de elasticidade nas referi-

das. Pontos estes que entende-se como primordiais para a garantia de confiabilidade e baixa latência numa comunicação E2E - ainda mais, se esta perpassa a CN.

3. Proposta

A presente seção detalha a proposta do trabalho, e as estratégias que almeja-se utilizar para atingir os objetivos. Antes, é necessário ponderar que a princípio, uma interface de rede não envia pacotes o tempo todo, pois é dependente da camada superior para que isto ocorra. Assim, observa-se que há uma pequena janela de tempo em que o meio “enlace” fica ocioso; o que ocorre independentemente de haver uma *slice* ou não. Inclusive no contexto de *multipath slices* isso pode ocorrer, conforme ilustra a Figura 1.

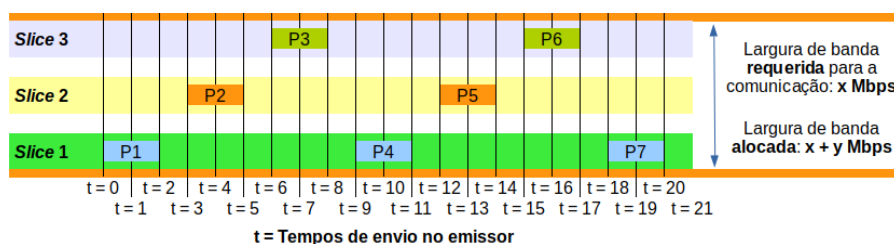


Figure 1. Encaminhamento *multipath* de pacotes.

Pela análise da Figura 1, observa-se que o remetente envia pacotes de modo *multi-path* ao destinatário, o que ocorre por meio de três *slices* distintas. Sobretudo, ressalta-se que não há aí um mecanismo que garanta a retransmissão de um pacote no caso de falha de alguma das *slices*, ficando isto a cargo de camadas superiores e muito provavelmente, carecendo de um pedido de retransmissão por parte do destinatário para que isto ocorra. Isso faz com que haja demora na recepção dos pacotes por parte do destinatário, pois estes podem ter sido corrompidos ou mesmo, perdidos. E por conseguinte, compromete aplicações de tempo real, não apenas na questão de confiabilidade, mas também, de *delay*.

Assim, a ideia que permeia este projeto, consiste em nesse intervalo de tempo em que as *slices* estão ociosas, encaixar duplicatas. Ou seja, a cópia de um pacote que acabou de ser transmitido por uma *slice* será intercalada em outra. Dessa forma, haverá otimização das *slices*, bem como um aumento significativo no quesito confiabilidade, imprescindível para aplicações URLLC. A Figura 2 ilustra este cenário.

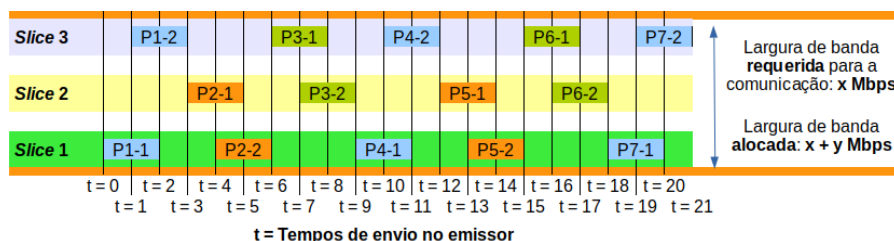


Figure 2. Abordagem para otimização das *slices* e aumento da confiabilidade.

Para um cenário como o apresentado na Figura 2, depreende-se que a comunicação é servida por três *slices* distintas, nas quais são intercaladas duplicatas de pacotes que acabaram de ser transmitidos. Por exemplo, o Pacote 2 “P2-1” foi inicialmente encaminhado pelo remetente por meio da *Slice 2* no instante de tempo 3 e, sendo um instante de

tempo depois, encaminhada uma cópia deste pela *Slice* 1 “P2-2”. Assim, é otimizada a utilização das *slices* e incrementada a confiabilidade. Pois, caso haja a perda/corrupção de um pacote, a comunicação será mantida e, sem a necessidade de retransmissão.

Por sua vez, o emprego de *multipath slices* provê que mesmo diante de casos mais extremos, como por exemplo, quando de uma falha total/parcial de uma *slice*, a carga desta poderá ser absorvida pelas demais *slices*, haja vista que estas já estão ativas e inseridas na comunicação, sem a necessidade de tempo adicional para instanciar uma nova *slice* [Shahriar et al. 2020]. A Figura 3 apresenta o cenário ora descrito.

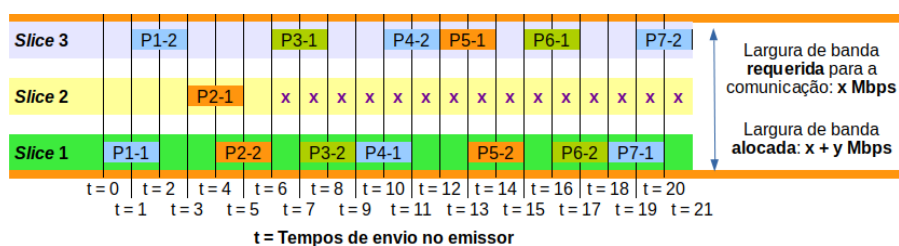


Figure 3. Falha na *Slice* 2 durante o encaminhamento de pacotes via *multipath*

Com base nos dados apresentados pela Figura 3, observa-se que no instante de tempo 6, a *Slice* 2 passou a não mais encaminhar pacotes, quer seja por uma falha intermitente ou permanente. Oportunidade na qual a comunicação não foi interrompida, haja vista as *Slices* 1 e 3 continuarem operantes e ainda, absorvendo a carga da que falhou, sendo os pacotes (P3-2, P6-2) e (P5-1), respectivamente.

Assim, apresenta-se este trabalho, no intuito de preencher esta lacuna, ou seja, contribuir para que seja possível a comunicação fim-a-fim altamente confiável e de baixa latência entre UE, podendo estes inclusive serem móveis, via *multipath slices* no contexto de suporte a 5G/B5G, em especial, à aplicações de URLLC. Para tanto, almeja-se:

- utilizar apenas uma interface de rede “*Network Interface Card - NIC*” por UE para a comunicação confiável e de baixa latência, diferentemente de [Islambouli et al. 2019], que se valeram de várias, o que consome recursos; além de não fragmentar um pacote em fragmentos menores;
- verificar se *multipath - MP* se sobressai a *MC* em termos de recursos, traçando um paralelo ao trabalho de [Mahmood et al. 2019];
- assim como [Gebert and Wich 2020] se valeram de *AT* em sua pesquisa, pretende-se analisar se há, e qual seria o ganho da adoção de *AT* junto a *multipath slices*;
- contemplar a confiabilidade de uma comunicação fim-a-fim, podendo valer-se do proposto por [Centenaro et al. 2020];
- quanto as técnicas de [Shahriar et al. 2020], verificar a viabilidade de expandir no contexto E2E, ou mesmo, adaptá-las para elasticidade de largura de banda;
- cobrir uma lacuna no trabalho de [Sweidan et al. 2020], quanto a ausência de réplicas de pacotes - incremento da confiabilidade e de elasticidade nas *slices*.

4. Conclusão

Para tanto, uma infraestrutura para avaliação experimental está sendo concebida, oportunidade na qual, soluções disponíveis serão testadas no intuito de aferir a viabilidade de

empregá-las/adaptá-las aos cenários ilustrados pelas Figuras 1, 2 e 3, que é o caso do NASOR [Moreira et al. 2020] e a SONAr [GonÇalves et al. 2020].

Ainda, salienta-se que em sintonia ao processo de ferramental, serão planejados e conduzidos experimentos, cujo intuito será validar o objetivo geral deste projeto. Assim, e em consonância com a análise e interpretação dos resultados, extrair-se-à dados que subsidiarão a escrita de novos artigos científicos.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPQ, processo número 421944/2021-8 chamada CNPq/MCTI/FNDCT No 18/2021 - UNIVERSAL

References

- Centenaro, M., Laselva, D., Steiner, J., Pedersen, K., and Mogensen, P. (2020). Resource-Efficient Dual Connectivity for Ultra-Reliable Low-Latency Communication. In *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*. ISSN: 2577-2465.
- Gebert, J. and Wich, A. (2020). Alternating Transmission of Packets in Dual Connectivity for Periodic Deterministic Communication Utilising Survival Time. In *2020 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. ISSN: 2575-4912.
- GonÇalves, M., Neto, N., Oliveira, D., Silva, F., and Rosa, P. (2020). Bootstrapping and Plug-and-Play Operations on Software Defined Networks: A Case Study on Self-configuration using the SONAr Architecture:. In *Proc. of the 10th Internat. Conf. on Cloud Comp. and Services Science*. SCITEPRESS - Science and Tech. Publications.
- Islambouli, R., Sweidan, Z., and Sharafeddine, S. (2019). Dynamic Multipath Resource Management for Ultra Reliable Low Latency Services. In *2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 987–992. ISSN: 2642-7389.
- Mahmood, N. H., Karimi, A., Berardinelli, G., Pedersen, K. I., and Laselva, D. (2019). On the Resource Utilization of Multi-Connectivity Transmission for URLLC Services in 5G New Radio. In *2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshop (WCNCW)*, pages 1–6.
- Moreira, R., Rosa, P. F., Aguiar, R. L. A., and de Oliveira Silva, F. (2020). Enabling Multi-domain and End-to-End Slice Orchestration for Virtualization Everything Functions (VxFs). In *Advanced Information Networking and Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 830–844, Cham. Springer Int. Publishing.
- O’Connell, E., Moore, D., and Newe, T. (2020). Challenges Associated with Implementing 5G in Manufacturing. *Telecom*, 1(1):48–67. Number: 1 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Shahriar, N., Taeb, S., Chowdhury, S. R., Zulfqar, M., Tornatore, M., Boutaba, R., Mitra, J., and Hemmati, M. (2020). Reliable Slicing of 5G Transport Networks With Bandwidth Squeezing and Multi-Path Provisioning. *IEEE Trans. on Network and Service Management*. Conference Name: IEEE Trans. on Network and Service Management.
- Sweidan, Z., Islambouli, R., and Sharafeddine, S. (2020). Optimized flow assignment for applications with strict reliability and latency constraints using path diversity. *Journal of Computational Science*, 44:101163.