

Planejamento e Avaliação de Redes de Computadores Utilizando Cópias Digitais: Estudo da Rede Metropolitana de Belém (MetroBel)

Marlon Pimentel¹, Antônio Abelém¹

¹Universidade Federal do Pará (UFPA) - Belém - Pará - Brasil

{pimentel, abelem}@ufpa.br

Abstract. *The MetroBel network was a pioneer network in the national context, launched in 2007, connecting several teaching and research institutions in the metropolitan region of Belém/PA. Designed 15 years ago, it is still in production, but needs to evolve to meet the new demands of user institutions. One of the obstacles to this evolution is the difficulty in carrying out tests to verify new configurations and adoption of new technologies. An innovative approach to overcoming these challenges is the use of Digital Shadow to address real-world problems. This approach uses digital techniques to represent real-world objects, has been gaining popularity in the industry and is beginning to be used in different scenarios. This paper proposes a four-step strategy to create a Digital Copy as an alternative to planning and evaluating computer networks. A case study of the MetroBel network is carried out to validate the proposal.*

Resumo. *A rede MetroBel foi uma rede pioneira no contexto nacional, lançada em 2007, conecta diversas instituições de ensino e pesquisa na região metropolitana de Belém/PA. Projetada há 15 anos, continua em produção, mas precisa evoluir para atender as novas demandas das instituições usuárias. Um dos entraves à essa evolução é a dificuldade para realizar testes para verificar novas configurações e adoção de novas tecnologias. Uma abordagem inovadora para superar esses desafios é o uso de cópias digitais (Digital Shadow) para tratar problemas do mundo real. Essa abordagem usa o meio digital para representar objeto do mundo real, vem ganhando popularidade na indústria e começa a ser empregada em cenários diversos. Este artigo propõe uma estratégia dividida em quatro etapas para criar uma Cópia Digital como uma alternativa para planejar e avaliar redes de computadores. Um estudo de caso da rede MetroBel é realizado para validar a proposta.*

1. Introdução

A rede MetroBel foi uma rede pioneira no contexto nacional, lançada em 2007, conecta diversas instituições de ensino e pesquisa na região metropolitana de Belém/PA, levando importantes benefícios, entre os quais destacam-se: o desenvolvimento de pesquisas científicas colaborativas, em nível nacional e internacional; o uso de serviços avançados de comunicação e colaboração com redução de gastos; ensino a distância; telemedicina; laboratórios virtuais; e computação distribuída ¹.

¹<http://www.pop-pa.rnp.br/metrobel/>

A preocupação com alternativas de suporte à tomada de decisões, a utilização e eficiência dos recursos físicos para um mundo mais sustentável fez surgir duas abordagens denominadas: Digital Twin (Gêmeo Digital) e Digital Shadow (Cópia Digital). Um trabalho que marcou e ajudou na fundamentação da abordagem Digital Twin surgiu a partir do programa Apollo da NASA, que construiu dois veículos espaciais idênticos [Tao et al. 2019]. Um deles foi lançado ao espaço aéreo para realizar a missão, enquanto o outro permaneceu na Terra, permitindo aos engenheiros espelhar as condições do lançado [Boschert and Rosen 2016]. Para [Chen 2017]: “digital Twin é um modelo computado-rizado de um dispositivo físico ou sistema que representa todos os recursos funcionais e links com os elementos de trabalho”.

A Cópia Digital é uma representação digital de um objeto que tem um fluxo uni-lateral entre o objeto físico e o digital [Fuller et al. 2020]. Viabiliza usar modelos matemáticos de ordem reduzida com apenas fidelidade suficiente para validar cenários reais, oferecendo uma alternativa economicamente viável, adequada para implementação industrial prática e em tempo real [Schuh et al. 2018a]. No nível de processamento de dados, a cópia digital não trabalha com dados distribuídos, opta por adotar abordagem centralizada para manipulação dos mesmos por meio de um software dedicado ou agente de software [Dalmolen et al. 2012].

A Cópia Digital permite criar modelos digitais de infraestruturas físicas para testar e validar inovações de maneira mais barata e eficiente [Schuh et al. 2018b]. Dessa forma, este trabalho propõe uma estratégia organizada em quatro etapas que usa a rede MetroBel como um caso de uso para criar uma cópia digital voltada para planejar e avaliar redes de computadores. As próximas seções estão organizadas da seguinte forma: a Seção 2 detalha a estratégia sugerida neste trabalho, já a Seção 3 descreve como a proposta foi aplicada no estudo de caso da Rede Metropolitana de Belém - MetroBel e, por fim, a Seção 4 - finaliza com conclusões gerais e sugere trabalhos futuros.

2. Proposta

A nossa proposta apresenta uma estratégia para utilizar cópia digital para o planejamento e avaliação de redes de computadores. A Figura 1 representa a estratégia, em quatro etapas: **Investigar**, **Elicitar Requisitos**, **Desenvolver** e **Ajustar e Testar**.

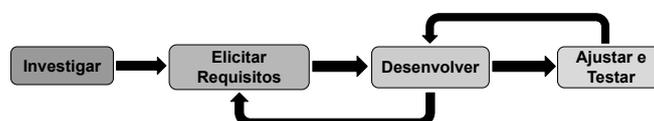


Figura 1. Pipeline da estratégia para construir a Cópia Digital.

A ilustração da Figura 1 mostra o *Pipeline* da estratégia que inicia na etapa **Investigar**. Essa primeira etapa da proposta é destinada a elaborar uma pesquisa sobre o objeto físico que será usado no estudo de caso, é realizada uma única vez, com objetivo de apresentar uma síntese apontando suas principais características como funcionamento e arquitetura. No passo seguinte o *Pipeline* segue para a etapa **Elicitar Requisitos**, responsável por coletar informações específicas da gerencia da rede, nela pode ser usada a técnica de entrevista, para identificar: comportamento dos equipamentos da rede, com o

intuito de obter o máximo de informações necessárias para o conhecimento da rede, de modo a prover o mais correto e completo entendimento do que está sendo demandado, funcionamento lógica da topologia da rede e problemas atuais. Já a etapa **Desenvolver** depende das duas etapas, **Investigar** e **Elicitar Requisitos**, consiste em adaptar e usar ferramentas baseadas em software livres para construir uma estrutura digital que consiga emular características reais da rede e suporte o princípio da adaptabilidade a fim de que a rede possa ser verificada e ajustada. A relação entre a etapa **Elicitar Requisitos** e **Desenvolver** objetiva alimentar a cópia digital com novas informações da rede. A etapa **Testar** e **Ajustar** é um elemento de *feedback* na estratégia para a etapa **Desenvolver**, testa e corrige problemas relacionados com a implementação de serviço de rede. Por meio dessa relação, serviços de rede são ajustados e testados, com isso novos dados em forma de instruções podem ser inseridos na cópia digital da rede.

3. Estudo de Caso: Rede Metropolitana de Belém - MetroBel

Esta parte do trabalho, aplica a estratégia para desenvolver uma Cópia Digital da MetroBel, com objetivo de ser uma alternativa para planejar e avaliar situações de menor complexidade, do tipo automatizar serviços de rede, até as de maior complexidade como implantação de novos serviços de rede, por adoção do MPLS.

3.1. Investigar o Objeto Físico

Para iniciar a estratégia, esta primeira etapa encarrega-se de realizar uma investigação sobre o objeto físico do estudo de caso - Rede Metropolitana de Belém - MetroBel, isso aconteceu por meio do levantamento de informações disponibilizadas na literatura e documentos digitais públicos. Desta forma foi possível resumir as principais características.

Sobre a estrutura física e a topologia da rede explorada: A MetroBel possui aproximadamente 52Km de extensão e interliga atualmente 14 IEPs da grande Belém. O anel de backbone da Rede Metrobel é formado por um cabo de 48 fibras (24 pares) e cada site é atendido com cabo de 12 fibras. A extensão BR (que atende o município de Ananindeua) utiliza cabo de 36 fibras. Originalmente cada par de fibra foi usado de forma dedicada (exclusiva) a cada IEP, formando assim 14 (quatorze) anéis logicamente independentes com o ponto de concentração e interligação no POP-PA (UFPA).

3.2. Elicitar Requisitos

Na área de engenharia de software a elicitação de requisitos é uma fase do projeto onde são extraídas informações do cliente sobre o que ele deseja que seja construído. É a fase em que o profissional de TI entende a necessidade do cliente e o orienta. É o momento de conversa com o usuário, de sentimento sobre o que este espera que seja entregue a ele. Essa coleta pode ser realizada por meio de entrevista. Três tipos de perguntas podem ser feitas nas entrevistas: perguntas fechadas, perguntas abertas e perguntas analíticas. Por fim, as entrevistas podem ser estruturadas ou não estruturadas [Furtado and Da Costa].

De início - Uma das perguntas fechadas se destinou à saber o protocolo de encaminhamento usado na rede: - “qual o principal protocolo de encaminhamento usado na MetroBel?”, a informação obtida por meio da resposta foi o protocolo *EAPs* - A tecnologia *Ethernet Automatic Protection Switching (EAPS) (TM)*, desenvolvido pela *Extreme Networks* para aumentar a disponibilidade e robustez dos anéis Ethernet. O especialista

acrescentou mais informações - alguns subanéis rodam o protocolo mais genérico *ERPs*. São protocolos de proteção destinados à rodar na topologia em anel, usam a técnica *spanning tree*, a fim de evitar *loop* na topologia. Outra pergunta elaborada destinou-se a coletar especificações sobre os equipamentos da rede: quais os equipamentos utilizados na rede? a informação coletada foi: equipamentos da *Extreme* com sistema operacional proprietário conhecido como *EXOS*.

3.3. Desenvolver

Sua função é estruturar e desenvolver a cópia digital a partir das informações obtidas nas etapas anteriores, mapear os serviços de rede e inserir em um ambiente digital. Para isso foi preciso montar um ambiente que permite emular *switch EXOS* da *Extreme* e salvar o estado da rede com serviços configurados em cada switch, além dessas principais características o ambiente foi customizado para funcionar em modo leve com recurso de processamento dedicado à emulação de rede. Esse Ambiente Digital é composto por um sistema operacional *Ubuntu 20.04.4 LTS* e um emulador de rede *GNS - 3* personalizado. O Sistema Operacional foi adaptado para trabalhar com uma versão mínima - sem programas extras e com uma interface gráfica leve *lxde*.

3.4. Ajustar e Testar

A copia digital precisa reproduzir determinadas funcionalidades do objeto físico. Diante disso, a etapa **Testar** atua como suporte para fazer funcionar os serviços de rede inseridos no Ambiente Digital da MetroBel por meio de ajuste e teste. Esta etapa envia *feedback* à etapa **Desenvolver**.

Como demonstração, serão apresentados dois casos: (1) práticas para automatizar o serviço de VLAN na rede; (2) implantar o serviço de proteção contra falha e loop que podem degradar o funcionamento das redes em Anel, como é o caso da MetroBel.

3.4.1. Habilitar Serviço de VLAN na Cópia Digital da MetroBel

Para habilitar o serviço de *VLAN*, o passo inicial é configurar as interfaces de rede nos Switches. Por exemplo, para nomear - "*sw1*" e atribuir o "*IP*" - 192.168.50.1 ao switch, as seguintes configurações foram feitas: (1) *configure snmp sysName sw1*, (2) *configure vlan Default ipaddress 192.168.50.1/24*, (3) *configure vlan Default add ports 12 tagged* e (4) *save configuration*

Em seguida, para configurar o serviço de *VLAN* na rede, foi preciso consultar a documentação² do Exos. Dessa forma uma rede simples com as seguintes configurações foi criada: duas VLANs (*UFPA* e *UFRA*) foram adicionadas no switch "*Sw1*" e a *VLAN IFPA* foi adicionada no switch "*Sw2*". Na porta 1 do switch *sw1* foi configurada a *VLAN UFPA* com endereço *IP 172.16.10.1*; A *VLAN UFRA*, *IP 172.16.20.1*, foi configurada na porta 2 do switch *sw1*; enquanto a *VLAN IFPA*, *IP 172.16.30.1* foi configurada na porta 3 do switch "*Sw2*".

A fim de verificar o serviço de comunicação da *VLAN* implantado na rede, um terminal configurado na *VLAN UFPA* fez um *ping* para um outro terminal da *VLAN IFPA*, de acordo com o resultado mostrado na Figura 2, o serviço foi implantado com sucesso.

²<https://extremeportal.force.com/ExtrArticleDetail?an=000088962>

```

fe80::250:79ff:fe66:6800/64
UFPA> ip 172.16.10.2/24 172.16.10.1
Checking for duplicate address...
UFPA : 172.16.10.2 255.255.255.0 gateway 172.16.10.1
UFPA> ping 172.16.30.2
84 bytes from 172.16.30.2 icmp_seq=1 ttl=63 time=12.753 ms
84 bytes from 172.16.30.2 icmp_seq=2 ttl=63 time=4.589 ms
84 bytes from 172.16.30.2 icmp_seq=3 ttl=63 time=4.212 ms
84 bytes from 172.16.30.2 icmp_seq=4 ttl=63 time=8.632 ms
84 bytes from 172.16.30.2 icmp_seq=5 ttl=63 time=9.721 ms
UFPA>

```

Figura 2. Verificação de Comunicação entre VLANs por meio do Ping.

3.4.2. Aplicar Protocolo de Proteção na Topologia em Anel

Para um funcionamento estável de uma topologia em Anel, recomenda-se usar mecanismo de proteção para evitar loop na rede. Em teoria dos grafos denomina-se árvore um grafo $G = (V, E)$ acíclico e conexo [Szwarcfiter 1988]. As árvores são grafos que não formam ciclo. Disto isso, foi verificado que um dos protocolos usados na rede MetroBel, para evitar loop na rede, é o ERPs, seu funcionamento cria virtualmente uma estrutura similar à uma árvore, ou seja, o link entre dois switches que fecham o Anel é bloqueado [Lee et al. 2009]. Esse link é conhecido como *RPL (Ring Protection Link)*, destacado com a cor vermelha na Figura 3.

Em paralelo com a configuração do protocolo ERPs, a documentação³ recomenda habilitar o protocolo CFM, pois é um outro protocolo que faz parte do mecanismo de proteção da topologia em Anel, sua principal função é sinalizar quando há uma falha de link em uma porta do anel ERPS para outros dispositivos no anel. Sua configuração segue um padrão: (1) cria-se o domínio CFM; (2) adicionar uma string e associar a Vlan principal, no caso a *controlufpa* como mostra a Figura 3; (3) associar as portas nos MEP-ID locais, na Figura 3 o elemento numérico antes do elemento group; (4) Definir MEP-ID que terá uma ligação direcionada com um grupo não local, na Figura 3 é o elemento numérico que está vinculado ao nome group.

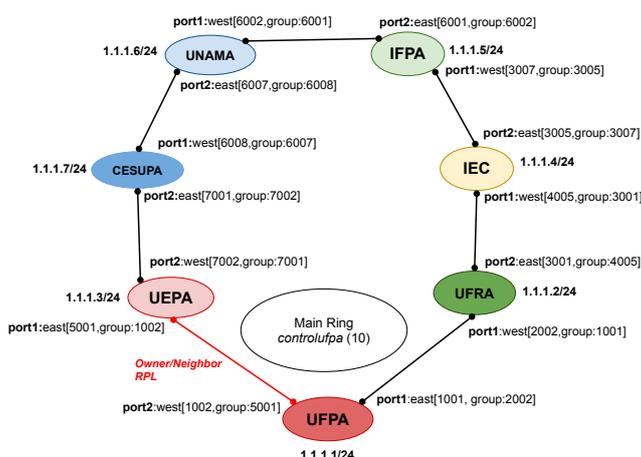


Figura 3. Topologia em Anel baseada na MetroBel com serviço de proteção contra loop e falha implantado.

³<https://extremeportal.force.com/ExtrArticleDetail?an=000099248>

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

A proposta elaborou uma estratégia que permite criar uma cópia digital que ajuda o planejamento e avaliação de serviços no contexto de redes de computadores, a MetroBel foi o cenário do caso de uso, nesse cenário foi aplicada a estratégia organizada em quatro etapas: A primeira **investigou** informações gerais da MetroBel, como funcionamento e arquitetura. Em seguida, passou para a etapa **Elicitar Requisitos**, por meio da técnica de entrevista obteve informações mais específicas das características físicas da MetroBel e identificou-se uma atividade manual no serviço de gerencia da rede; A próxima etapa derivada das duas etapas anteriores, denomina-se **Desenvolver** - Ambiente Digital baseado em software livre para emular características da rede, capaz de ser compartilhado e adaptado conforme alimentação da etapa **Elicitar Requisitos** e *feedback* da etapa **Ajustar e Testar**; e por fim a etapa **Ajustar e Testar**, sua função é verificar os serviços de rede implantados no Ambiente Digital, caso apresentem erro, análises serão feitas nas instruções executadas nos equipamentos da rede, com isso é possível realizar ajustes e testes com objetivo de solucionar o erro e assim normalizar o serviço de rede habilitado.

Como trabalhos futuros, pretende-se trabalhar no desenvolvimento de um cenário mais completo da MetroBel e realizar novos testes de funcionalidades a fim de criar uma cópia digital mais robusta com objetivo de ser uma alternativa que ajude o planejamento e avaliação da rede MetroBel.

Referências

- Boschert, S. and Rosen, R. (2016). Digital twin—the simulation aspect. In *Mechatronic futures*, pages 59–74. Springer.
- Chen, Y. (2017). Integrated and intelligent manufacturing: perspectives and enablers. *Engineering*, 3(5):588–595.
- Dalmolen, S., Cornelisse, E., Moonen, H., and Stoter, A. (2012). Cargo’s digital shadow: a blueprint to enable a cargo centric information architecture. pages 1 – 16.
- Fuller, A., Fan, Z., Day, C., and Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8:108952–108971.
- Furtado, A. and Da Costa, J. *Pratica De Analise E Projeto De Sistemas*. JULIO VALENTE.
- Lee, D., Rhee, J.-K. K., Lee, K., and Cho, P. (2009). Efficient ethernet multi-ring protection system. In *2009 7th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks*, pages 305–311. IEEE.
- Schuh, G., Dölle, C., and Tönnies, C. (2018a). Methodology for the derivation of a digital shadow for engineering management. In *2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON)*, pages 1–6. IEEE.
- Schuh, G., Jussen, P., and Harland, T. (2018b). The digital shadow of services: a reference model for comprehensive data collection in mro services of machine manufacturers. *Procedia CIRP*, 73:271–277.
- Szwarcfiter, J. L. (1988). *Grafos e algoritimos computacionais*. Campus.
- Tao, F., Zhang, M., and Nee, A. Y. C. (2019). *Digital twin driven smart manufacturing*. Academic Press.