

Utilizando o *testbed Smart City* para treinar alunos de engenharia em tópicos de gerenciamento de rede durante a pandemia de COVID-19

Henrique Carvalho de Resende , Nina Slamnik-Kriještorac , Cristiano Bonato Both , and Johann M. Marquez-Barja , *Member, IEEE*

Resumo— Com as imensas oportunidades para tornar uma rede de comunicação programável, a virtualização de funções de rede e redes definidas por software estão ganhando força tanto na indústria quanto nos círculos de pesquisa, sendo um conjunto de habilidades fundamentais para engenheiros elétricos e cientistas da computação. Portanto, neste artigo, apresentamos e avaliamos a estrutura educacional para o ensino prático de Service Function Chaining (SFC) para alunos de graduação com o objetivo de prepará-los para o futuro mercado de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e redes de comunicação que demandará profissionais habilitados na área. A estrutura educacional foi projetada para o curso de Gerenciamento de Rede da Universidade de Antuérpia, com o objetivo de preencher a lacuna entre os conceitos de programabilidade de rede aplicados na indústria e os ensinados na Universidade. Avaliamos a estrutura educacional com duas extensas pesquisas como feedback dos alunos que nos deram a oportunidade de medir e quantificar a experiência e satisfação dos alunos com a estrutura. Em particular, com base no ambiente desafiador imposto pelo COVID-19, identificamos as lacunas neste quadro educativo e abordar melhorias nas componentes teórica e prática de acordo com as necessidades dos alunos. Nossa estrutura educacional e a avaliação minuciosa servem como uma orientação útil sobre como modernizar os cursos de engenharia e acompanhar o ritmo da tecnologia.

Termos de índice— Encadeamento de funções de serviço, virtualização, gerenciamento de rede, estrutura educacional, feedback do aluno

Henrique Carvalho de Resende é vinculado a IDLab - Faculty of Applied Engineering, University of Antwerp - imec, Antwerp, Belgium (e-mail: henrique.carvalhoderesende@uantwerpen.be).

Nina Slamnik-Kriještorac é vinculado a IDLab - Faculty of Applied Engineering, University of Antwerp - imec, Antwerp, Belgium (e-mail: nina.slamnikkrijestorac@uantwerpen.be).

Cristiano Bonato Both é vinculado a Applied Computing Graduate Program, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre, RS, Brazil (e-mail: cbboth@unisinos.br).

Johann M. Marquez-Barja é vinculado a IDLab - Faculty of Applied Engineering, University of Antwerp - imec, Antwerp, Belgium (e-mail: johann.marquez-barja@uantwerpen.be).

Este trabalho é uma extensão de um artigo de conferência publicado na IEEE Global Engineering Education Conference 2020 (EDUCON2020) [1]. Neste trabalho anterior projetamos a estrutura educacional detalhada neste artigo. Além disso, descrevemos como um possível guia de manutenção deve ser feito para o mantimento e constante atualização da qualidade das aulas práticas de Gerenciamento de Redes. Portanto, estendemos nosso trabalho anterior adicionando os resultados e lições aprendidas do guia de manutenção projetado e da implementação das aulas.

A sinergia de programação, software e virtualização de rede já é reconhecida como inseparável da indústria. Como a virtualização de rede permite que as empresas otimizem e direcionem dinamicamente o tráfego de serviços entre centenas de servidores à disposição das empresas [2], grandes empresas como Google [3] e Amazon [4] já aplicaram programabilidade e virtualização de rede em seus datacenters. Além disso, com a popularidade emergente da virtualização de redes, não só as grandes empresas vão se beneficiar com sua implementação, mas também o mercado vai impulsionar a demanda por profissionais com conhecimento prático nesta área. A academia e a indústria estão unidas com o objetivo de estudar programabilidade, softwareização e virtualização em duas grandes áreas de pesquisa, que são Network Function Virtualization (NFV) e Software-Defined Networking (SDN).

NFV é a virtualização das funções de rede física, enquanto SDN permite a separação do plano de controle de rede do plano de dados [2]. A fusão desses dois paradigmas abriu toda uma nova área de pesquisa. Esta área tem prós e contras, que são estudados em conjunto sob o tópico nomeado Service Function Chaining (SFC) [2]. Por exemplo, a virtualização de funções de rede trazida pelo NFV aprimorou a escalabilidade e a manutenção da infraestrutura de rede [2]. Além disso, o SDN permite a programação da rede, o que melhora a conectividade permitindo uma configuração dinâmica e rápida da rota de tráfego de dados [2]. No entanto, novos desafios, como a

I. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

execução e migração de Funções de Rede Virtual (VNFs), surgiram como consequência dessa abordagem. Para entender os aprimoramentos e os desafios trazidos pela era da virtualização de rede, é crucial discernir como a virtualização de rede é implementada, implantada e gerenciada.

Portanto, uma qualificação fundamental que se deve ter nos dias de hoje é a capacidade de usar e gerenciar SFC, principalmente para alunos de graduação que têm como objetivo disputar as vagas do mercado de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) nos próximos anos [5]–[7]. Portanto, o conhecimento prático básico de gerenciamento de rede virtual deve ser fornecido pedagogicamente durante o estudo e deve ser considerado nos currículos de todos os cursos de gerenciamento de rede. Neste contexto, para o aprimoramento das competências dos alunos, espera-se avaliar as melhores ferramentas disponíveis para uso no ensino acadêmico de redes virtuais e saber como as aulas devem ser estruturadas, e reforçadas por laboratórios práticos, para atingir resultados de aprendizagem satisfatórios de maneira rápida e eficiente.

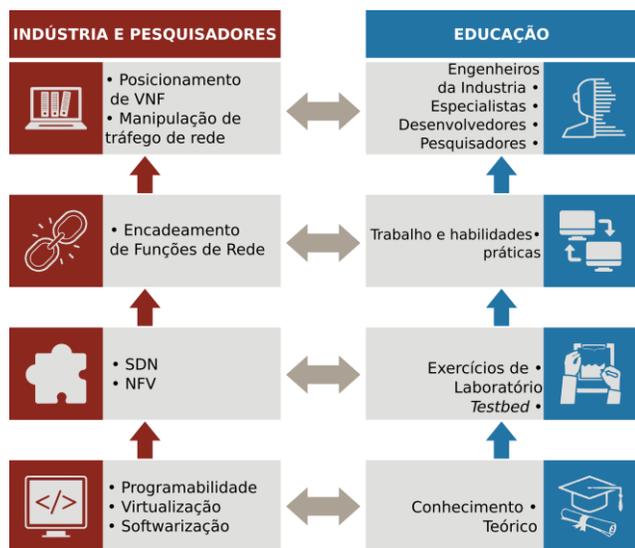


Fig. 1: A posição do SFC na indústria e academia

Em particular, na Fig. 1, ilustramos como o fluxo de ensino de SFC deve ser sincronizado com o ritmo da indústria e da pesquisa. De baixo para cima, a abordagem educacional teórica apresentaria aos alunos os fundamentos da Programação, Virtualização e Softwareização, que oferecem suporte às ferramentas de redes de computadores atuais. Os exercícios de laboratório reforçam os fundamentos já aprendidos e ensinam os conceitos que colocam em prática os fundamentos teóricos, como SDN e NFV. O trabalho prático é onde os conceitos se fundem, construindo SFC, e os alunos se aplicam a casos de uso do mundo real. Na última etapa, esperasse que os alunos sigam para uma especialização na indústria ou na academia, preparando-se para estudar problemas mais complexos relacionados à SFC.

Slamnik-Kriještorac et al. [8] estudaram o impacto dos

exercícios de laboratório na experiência dos alunos na aprendizagem. Os autores enfatizaram a importância de adquirir habilidades práticas e habilidades de resolução de problemas para alunos de graduação, o que pode motivar ainda mais os alunos a pesquisar este campo específico relacionado ao curso e explorar o conhecimento prático e as habilidades em seu trabalho diário. Além disso, apesar do aumento na disponibilidade de diversos recursos tecnológicos nos laboratórios, os esforços para incluí-los na educação permanecem os mesmos, ou seja, seguindo a abordagem relacionada à demonstração em que os professores demonstram casos de uso prático, com os alunos apenas repetindo os exemplos [9]. Assim, Crocker et al. [9] apontam para a importância de um envolvimento mais significativo dos alunos ao longo do processo de aprendizagem. Motivados para apoiar esse autodidatismo e fornecer experimentação do mundo real em cada exercício de laboratório, exploramos os recursos de teste de rede sem fio em grande escala.

Para fornecer experimentação no mundo real, utilizamos o testbed Citylab¹ construído em colaboração entre a Universidade de Antuérpia e o imec Bélgica, que provou ser o próximo passo na pesquisa acadêmica e no ensino [10]. Citylab é uma plataforma de teste de rede sem fio em grande escala de cidade inteligente que permite a experimentação em nível de bairro da cidade no espectro não licenciado. O testbed está localizado na cidade de Antuérpia, e seus nós de experimentação são fixados em edifícios e postes de luz. O testbed está equipado com uma infraestrutura que permite fácil acesso remoto. Citylab provou ser um excelente instrumento de ensino acadêmico devido à sua experimentação confiável, tecnologias de rede heterogêneas e ambientes próximos do real.

Neste artigo, apresentamos uma metodologia de ensino pedagógica para apresentar os alunos de graduação ao SFC teórico e prático, fornecendo-lhes conhecimentos úteis sobre a virtualização de um ambiente de rede da vida real, como o testbed Smart City. Posteriormente, apresentamos e analisamos minuciosamente a opinião dos alunos que nos permitiu medir e quantificar a sua experiência e satisfação com a configuração de ensino e experimentação. Considerando uma circunstância específica como o fechamento de campus ocasionado pela situação do COVID-19, também coletamos a opinião dos alunos referente à experiência com o ensino a distância tanto da parte teórica quanto da prática. Até onde sabemos, este é o único trabalho que aborda a modernização do curso para a programação da rede aplicando o encadeamento de funções de serviço nas aulas práticas.

Nossa metodologia foi projetada para um curso de Gerenciamento de Rede do sexto semestre da Faculdade de Engenharia Aplicada da Universidade de Antuérpia². O resultado de nossa metodologia de ensino facilita a incorporação das aulas no ambiente de laboratório prático de redes virtuais, com os objetivos finais de: (i) fornecer aos alunos de graduação conhecimentos concretos na execução de

¹ https://doc.lab.cityofthings.eu/wiki/Main_Page

² <https://tinyurl.com/bd8shhx6>

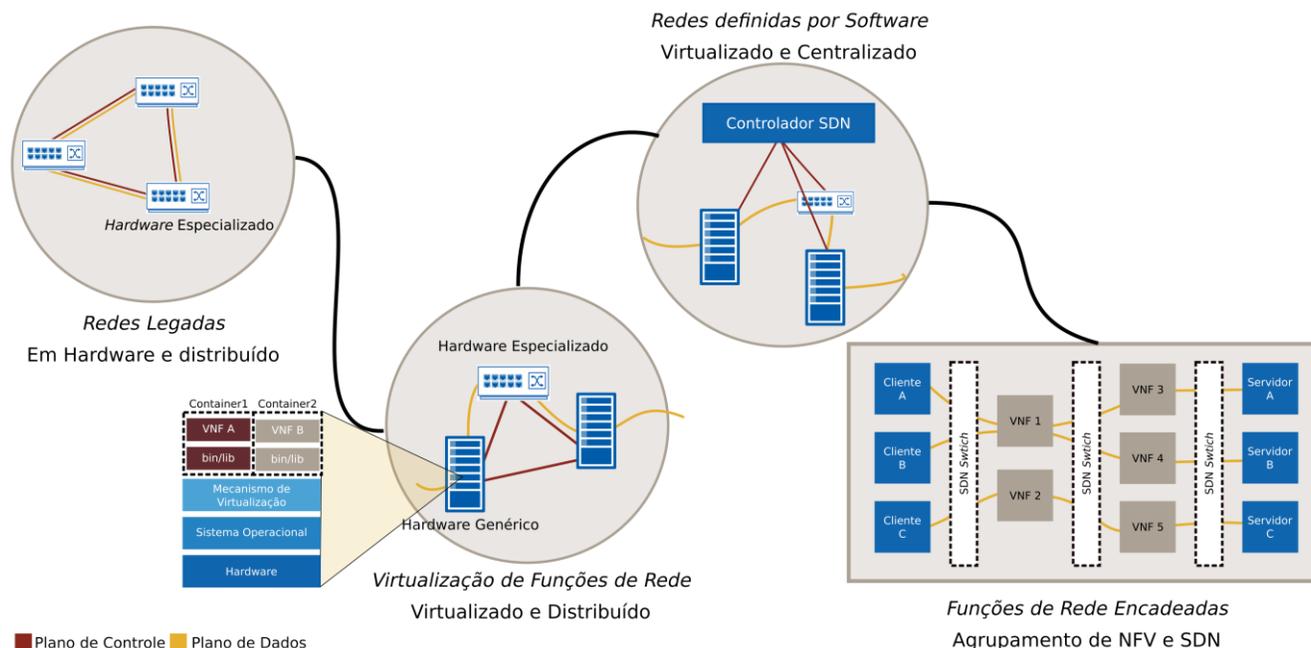


Fig. 2: Diagrama de relacionamento de conceitos fundamentais

operações básicas de SFC, (ii) aumentar o interesse dos alunos para este ou tópicos semelhantes, e (iii) para melhorar a qualidade de sua experiência de aprendizagem. Finalmente, os valiosos comentários obtidos dos alunos justificam a viabilidade e razoabilidade da criação de tal laboratório. Além disso, enfrentando o ambiente desafiador imposto pelo COVID-19, estes comentários servem como uma diretriz para identificar com eficiência as lacunas na metodologia de ensino proposta e abordar essas lacunas e ajustar o ritmo de ensino ajustando o conteúdo dos componentes teóricos e práticos de acordo com necessidades dos alunos.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. Na Seção II, os conceitos fundamentais da estrutura de aprendizagem para o curso Gerenciamento de Redes são introduzidos. Na Seção III, mostramos a metodologia de ensino, incluindo os objetivos e as sessões. Além disso, apresentamos exaustivamente nossa estrutura educacional de gerenciamento de rede na Seção IV, enquanto na Seção V avaliamos essa estrutura analisando as opiniões coletadas dos alunos. Na Seção VI, concluímos o artigo e apresentamos nossos trabalhos futuros.

II. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Nesta seção, apresentamos os conceitos fundamentais que os alunos precisam entender para prosseguir com a implantação de uma rede virtual e SFC. Para esse fim, primeiro descrevemos o NFV e a padronização por trás desse conceito essencial. Além disso, definimos SDN e detalhamos como esse conceito aprimora o fluxo da rede legada. SFC é apresentado como a união de NFV e SDN para fornecer um ambiente de rede dinâmico e altamente personalizável. Na Fig. 2, abordamos a visão das redes de comunicação de computador de redes distribuídas implementadas por hardware para redes

virtualizadas e centralizadas. Nesta visão, apresentamos as redes legadas, que são compostas principalmente por hardware especializado e plano de controle distribuído. Além disso, com o advento da virtualização, o NFV possibilitou a execução da Função de Rede (NF) em hardware genérico. SDN vem a seguir, implementando o conceito de plano de controle centralizado otimizando a infraestrutura de rede com o feedback de switches virtuais em hardware genérico ou hardware programável especializado. Por fim, o SFC é fruto da sinergia da NFV e da SDN, com o conhecimento sofisticado de ambas as áreas.

A. Função de Rede Virtualizada

Grças à virtualização em redes de computadores, as funções de rede que poderiam ser realizadas apenas em hardware agora têm suas variantes baseadas em software [2]. A virtualização é uma tecnologia crucial que tem sido amplamente explorada em data centers para permitir o compartilhamento de hardware com isolamento de dados e processos. Atualmente, a tecnologia mais popular utilizada para virtualização são as Máquinas Virtuais (VMs). No entanto, a virtualização baseada em container começou a ganhar força como alternativa para a VM. Devido ao compartilhamento do kernel do host com isolamento do espaço do usuário, a containerização permite uma implantação leve de serviços e aplicativos, em comparação com a VM tradicional. Conforme proposto por Bolivar et al. [11], os containers estão sendo considerados para implantar o NFV como parte das tecnologias 5G emergentes.

A virtualização da NF tem o potencial de diminuir o Capital Expenditure (CAPEX) e Operational Expenditure (OPEX) da infraestrutura de redes de computadores. Os baixos custos e as novas oportunidades atraem o interesse da indústria, que

investe cada vez mais nesta área. Por exemplo, a South Korea Telecom (SKT) e a Viva Kuwait já iniciaram a migração da infraestrutura de rede física para a virtual, e essa tendência tende a se popularizar [12]. Portanto, a qualificação dos alunos para o preenchimento das futuras vagas é fundamental para atender a essa crescente demanda do setor [13]. Na perspectiva da pesquisa, a Função de Rede Virtual (VNF) é o principal componente do NFV, como resultado da virtualização de uma função de rede. Esse conceito permitiu que operadores de rede e administradores de sistema implantassem instâncias VNF para diferentes demandas de tráfego de rede. No entanto, com essa possibilidade de implantação dinâmica, surgiram desafios como colocação de VNF e migração [14].

B. Redes Definidas por Software

SDN é o desacoplamento do plano de controle da rede do plano de dados [2]. Esse paradigma surgiu com a necessidade de criar fluxos de rede mais eficientes, direcionando dinamicamente o tráfego da rede e balanceamento de carga entre os nós da rede. Como as redes de computadores estão conectadas de forma distribuída, isso significa que cada switch ou roteador tem seu plano de controle, que é usado para descobrir novos dispositivos e encaminhar os dados para o destino. Portanto, não há um único componente/entidade que controle a comunicação entre todos os dispositivos.

SDN é uma tecnologia amplamente explorada que possui implementações de software robustas, como OpenDaylight [15] e Ryu [16]. Embora o OpenDaylight seja reconhecido como uma solução segura para a indústria, Ryu é mais usado para pesquisas acadêmicas devido à menor complexidade. Essa característica apoia a educação, pois implementa apenas os componentes necessários para uma implantação simples de SDN.

Com o SDN, os operadores de rede podem criar e gerenciar tabelas de roteamento e configurar regras de rede da camada dois em vários dispositivos a partir de um único ponto. Neste contexto, a SDN trouxe novos desafios, como permitir a comunicação entre controladores SDN e permitir a integração das redes de computadores de diferentes operadores. Além disso, ao centralizar o controlador SDN, o controle da rede é um único ponto de falha, que pode afetar a disponibilidade de toda a rede. Sendo o entendimento de SDN fundamental para um profissional de rede de computadores, torna-se um tema indispensável no âmbito educacional e na preparação dos alunos para o mercado.

C. Encadeamento de Serviços em Funções

SFC é a implantação de pelo menos duas NF que fornecem um serviço de rede ao usuário. Um exemplo simples de SFC é o servidor Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) atrás de um firewall. O tráfego de rede das solicitações do cliente passa primeiro pelo firewall que filtra as solicitações antes de chegar ao servidor DHCP. Esse gerenciamento dos fluxos da rede para passar por diferentes funções em direção ao ponto de destino é denominado encadeamento. Existem diversos utilitários para este método, como segurança no caso de firewalls e sistemas de detecção de intrusão (IDSs) e estatísticas

no caso de contadores de pacotes.

O encadeamento de funções pode ser feito configurando estaticamente a rede para direcionar o tráfego por meio de funções específicas na infraestrutura. Na rede legada, o conceito de encadeamento de diferentes funções de rede já existia. Porém, com o rápido desenvolvimento das tecnologias de virtualização e a softwarização do NF, essa implantação e gerenciamento de várias instâncias de rede tornou-se dinâmico.

Portanto, os educadores precisam introduzir os conceitos de NFV e SDN, que são a base das futuras redes de computadores no ensino de SFC. As VNFs fornecerão implementações de diferentes serviços de rede, e o SDN permitirá que as operadoras programem a rede e direcionem diferentes fluxos de rede sob demanda. Essas características permitirão a customização da rede, por exemplo, por serviço ou por usuário, essenciais para os avanços na área de redes de computadores.

III. PLATAFORMA EDUCACIONAL DE GERENCIAMENTO DE REDE

Nesta seção, apresentamos nossa plataforma educacional de gerenciamento de rede. Em particular, apresentamos os objetivos e comparamos as sessões com os objetivos de aprendizagem para gerenciamento de rede especificados pelo ACM/IEEE Computer Engineering Curricula 2017 (ACM/IEEE CE2017) para demonstrar que nossa plataforma compreende os resultados esperados (III-B). Em seguida, descrevemos as sessões e concluímos a seção com exemplos de como o gerenciamento de redes é aplicado na prática (III-D).

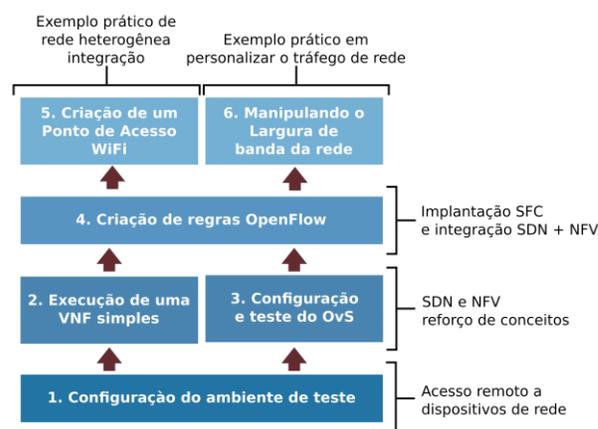


Fig. 3: Mapeamento da Plataforma Educacional.

A. Objetivos

A criação e manutenção da complexa infraestrutura de rede virtual será a tarefa diária dos engenheiros de rede de computadores. No entanto, eles encontrarão muitos cenários inesperados que desafiarão seus conhecimentos e habilidades para resolver os problemas relacionados à rede. Portanto, nesta estrutura educacional, nos concentramos em laboratórios práticos e atividades para:

I. fornecer aos alunos de graduação conhecimentos sólidos

- sobre a execução de operações SFC básicas,
- II. aumentar o interesse dos alunos por este ou tópicos semelhantes,
- III. melhorar a qualidade de sua experiência de aprendizagem.

Alcancamos esses objetivos construindo a estrutura dessa plataforma em seis sessões: Acesso remoto ao testbed, implantação de VNF com o Docker³, primeiro contato com o switch OpenFlow (OF), uso de regras de OFs, criação de um ponto de acesso WiFi e manipulação de largura de banda de rede. As sessões estão mapeadas na Fig. 3, onde o conteúdo de uma sessão está diretamente ligado ao ensino da próxima.

B. Alinhamento Curricular

O ACM, em colaboração com o IEEE, elaborou o ACM/IEEE Computer Engineering Curricula 2017 (ACM/IEEE CE2017) para tecnologia da informação para orientar as instituições com recomendações e recomendações estratégicas específicas. Neste documento de recomendação, o ACM/IEEE CE2017 especifica alguns resultados de aprendizagem para o curso de gerenciamento de rede, que é o foco deste artigo. Portanto, apresentamos uma lista desses resultados de aprendizagem na Tabela I.

TABELA I
OBJETIVOS EDUCACIONAIS

Índice	Objetivo educacional
A	Questões principais
B	Arquiteturas típicas
C	Demonstrar o gerenciamento de um dispositivo de rede
D	Comparar técnicas de gerenciamento de rede conforme se aplicam a redes com e sem fio
E	Discutir o protocolo de resolução de endereços (ARP)
	Apresentar os conceitos de nomes de domínio e nome de Sistemas de domínio (DNS)
G	Descrever o Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)
H	Descrever vários problemas relacionados com a Internet Service Providers (ISPs)
I	Ilustrar vários problemas de qualidade de serviço (QoS)
J	Descrever redes ad hoc
K	Ensinar princípios de solução de problemas
L	Descrever áreas funcionais de gerenciamento relacionadas a redes

A nossa plataforma educacional é embasada por quatro sessões teóricas de gestão de redes, que têm como principal objetivo apresentar os principais conceitos de gestão de redes e tópicos que não serão discutidos nas sessões práticas específicas por limitação de tempo. Além disso, alguns conceitos importantes como confiabilidade e segurança do serviço são avaliados durante as aulas teóricas, a fim de introduzir os alunos aos tópicos comuns que o gerenciamento de rede tem com outros cursos, como teoria de tolerância a falhas e segurança informática. A Tabela II apresenta as nove sessões do curso de gerenciamento de redes, sendo quatro

teóricas e cinco práticas em laboratório. A tabela também apresenta o conteúdo e os resultados de aprendizagem alcançados no final de cada sessão.

Uma vez que nossa plataforma educacional, com o apoio das sessões teóricas, está totalmente alinhada com o Currículo de Engenharia da Computação ACM/IEEE 2017 (ACM/IEEE CE2017), ela é reforçada para preparar profissionais de redes de computadores sem pular nenhum conhecimento essencial no processo de desenvolvimento do aluno.

C. Sessões

Nesta subsecção, detalhamos as sessões em laboratório da plataforma educacional que corresponde à segunda parte da Tabela I.

1) *Configuração do Ambiente Experimental*: O testbed Citylab é explorado como um recurso valioso para os alunos experimentarem as técnicas de gerenciamento de rede em um cenário de cidade real. Este testbed pode ser acessado através do jFed [17], que é uma ferramenta que agrupa diversas instalações de testbed e permite o acesso remoto através do Secure Shell (SSH). Usando o jFed, os alunos podem configurar a topologia da rede e conectar os nós disponíveis no ambiente de teste.

A configuração do testbed inclui: (i) registrar-se nas instalações do testbed, (ii) criar um experimento, (iii) selecionar nós, (iv) criar topologia de rede, (v) acessar os nós, e (vi) verificar a conectividade entre os nós. A duração deste primeiro estágio de experimentação é altamente suscetível aos níveis de experiência dos alunos no trabalho com ferramentas de alocação de experimentos e usando uma interface de linha de comando. Embora seja um desafio no início, familiarizar-se com a interface de linha de comando é altamente apreciado, uma vez que essa é uma das práticas mais comuns em um ambiente de trabalho de TIC.

Os nós reservados no CityLab são distribuídos aos grupos de alunos, garantindo que os nós alocados a um grupo estejam próximos uns dos outros para estabelecer uma conexão sem fio (Fig. 4).

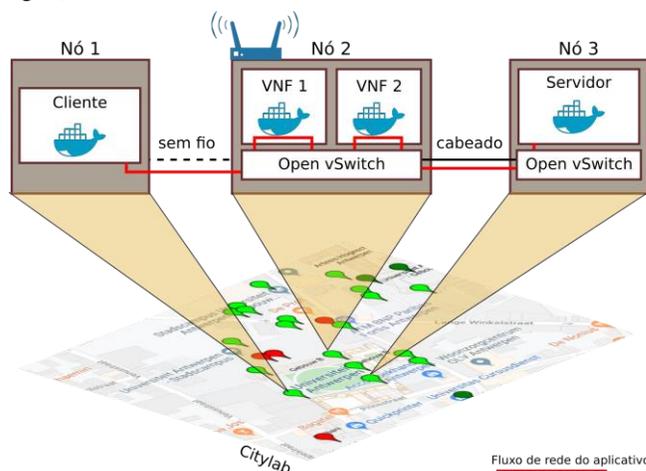


Fig. 4: Configuração do experimento SFC no Citylab

2) *Simple implantação de VNF*: VNF é uma implementação

³ <https://www.docker.com/>

de software de uma NF que costumava ser implementada em hardware. No entanto, um dos problemas enfrentados pelo software é o isolamento de desempenho entre os programas implantados no mesmo hardware. Portanto, é necessário usar as soluções de virtualização correspondentes, pois elas isolam o VNF e os gerenciam separadamente. Neste curso usamos o Docker, uma vez que possui uma comunidade ativa que fornece uma extensa documentação que pode ser benéfica para os alunos.

O objetivo desta sessão é entender a virtualização de contêiner e como os VNFs são implantados em um cenário do mundo real. Para tanto, os alunos recebem um Firewall VNF pronto para implantar em um container Docker.

VNF está vinculada. Os alunos receberam um script de encaminhamento de pacote básico que encaminha os pacotes para fora do VNF com os dados que chegarem pela interface de rede com sucesso. Além disso, os alunos também receberam um script básico para criar novos tipos de VNFs, com o objetivo de ensiná-los como o switch OF e o VNF manipulam os pacotes, e como o VNF encaminha os pacotes para o próximo destino (por exemplo, VNF ou aplicação).

5) *Criação de um ponto de acesso WiFi*: Manipular o tráfego de dados de geradores de tráfego implantados no mesmo host já é o suficiente para demonstrar como funciona o SFC. No entanto, algumas configurações extras são necessárias ao

TABELA II
ALINHAMENTO DA ESTRUTURA EDUCACIONAL COM OS CURRÍCULOS ACM / IEEE 2017

Semana	Abordagem da Sessão	Duração	Sessão	CS2017 - Gerenciamento de Redes Principais Resultados de Aprendizagem
1	Teoria	2h	Introdução e Conceitos Fundamentais	A, L
2		2h	Arquiteturas típicas com o avanço das redes virtualizadas e programáveis	B, D, J
3		2h	Principais protocolos de gerenciamento de rede	E, F, G
4		2h	Provedores de serviços de Internet e problemas principais de gerenciamento de rede	H, I
5	Prática	2h	Configurando o ambiente de teste	C, L
6		2h	Implantação simples de VNF com Docker	C, L
7		4h	Configuração e teste do OvS	C, E, I, K
8		4h	Criação de regras OpenFlow para implantar um SFC	C, I, K
9		4h	Criação de um ponto de acesso WiFi para emular uma arquitetura de aplicativo cliente-servidor	C, D, E, G, I
	Manipulando a largura de banda da rede usando VNFs		C, H, I, K, L	

3) *Configuração e teste do Open vSwitch*: Como a configuração do Open vSwitch (OvS) é o primeiro contato com um switch SDN para a maioria dos alunos, é necessário gastar mais tempo explorando os recursos de roteamento do OvS, evitando assim a interrupção da conectividade de rede com o testbed nó. Os alunos configuraram o OvS nos nós do Citylab, com uma ponte OvS que é criada e anexada à interface da rede experimental. Para garantir que a comunicação entre dois VNFs passe pelo switch SDN, anexamos uma interface de rede aos contêineres e utilizamos essa interface como padrão para os VNFs. Durante esta sessão, OvS é testado usando ferramentas geradoras de tráfego, como protocolo ICMP e iPerf3 [18]. Os alunos implantaram regras básicas de OF para bloquear e marcar o tráfego que corresponde ao padrão descrito na regra. Seguindo essas etapas, os alunos adquiriram o conhecimento fundamental para implantar regras de OF e para explorar as oportunidades trazidas pela programabilidade.

4) *Criação das regras do OpenFlow*: Nesta sessão, os alunos combinaram os conhecimentos adquiridos em NFV e SDN para criar um SFC. Como uma atualização para as sessões anteriores, os alunos criaram portas virtuais na ponte OvS, conectando-se à pilha de rede VNF dentro do contêiner. Uma vez que o VNF esteja conectado à ponte OvS, as regras OF puderam redirecionar o tráfego para a porta, à qual a interface

receber tráfego de uma rede diferente. Portanto, os alunos configuraram um ponto de acesso WiFi em um nó do CityLab e se conectaram a ele a partir de outro nó. Dessa forma, o tráfego proveniente da interface sem fio precisará ser encaminhado para a ponte OvS para passar pelo SFC e chegar ao seu destino final.

6) *Configurando a largura de banda da rede*: Explorando o script do encaminhador de pacote fornecido, os alunos estenderam o VNF para gerenciar a largura de banda da rede do tráfego que passa por ela. O objetivo da última sessão é melhorar a compreensão dos alunos sobre como os operadores de rede podem fornecer diferentes níveis de qualidade de serviço (QoS) para diferentes tipos de tráfego de rede. Por fim, os alunos avaliaram a compensação entre a utilização da CPU, o rendimento da rede e a latência com o uso de VNFs.

D. Gerenciamento de rede na prática

As ferramentas de simulação de rede são geralmente utilizadas em cursos de graduação para explicar os conceitos e demonstrar o comportamento da rede. Uma vez que as ferramentas de simulação dependem principalmente da configuração de parâmetros de rede que não podem ser previstos, elas podem levar a conclusões não confiáveis. Portanto, para experimentos em pequena escala, experimentar em um ambiente real torna-se valioso, seguindo

comportamentos imprevisíveis e aumentando a significância dos resultados da pesquisa. Além disso, nos cursos de graduação, os laboratórios práticos estimulam o interesse dos alunos em usar ferramentas práticas que podem ser utilizadas posteriormente em suas carreiras [8]. Ao proporcionar aos alunos a oportunidade de adquirir habilidades práticas neste campo emergente em um estágio inicial, pretendemos incentivá-los a quebrar as barreiras potenciais para o trabalho prático e motivar os alunos para a experimentação em geral. Essa experiência prática pode motivar os alunos a abordar a pesquisa e expandir o conhecimento posteriormente, em um

estágio mais maduro do estudo.

Os cursos de graduação existentes apenas explicam os conceitos teóricos de NFV e SDN, excluindo qualquer implementação prática. Uma razão para tais fenômenos podem ser a potencial falta de documentação adequada para as ferramentas de rede e o acesso a tais ferramentas (por exemplo, laboratórios de alto desempenho). Seguido pela orientação teórica correspondente, nossa estrutura educacional com as ferramentas de virtualização apoia a implementação prática de técnicas de virtualização de rede para os alunos de graduação e os encoraja a expandir seus conhecimentos e experimentar esta

TABELA III
PERGUNTAS DA PESQUISA RELACIONADAS AO CURSO

Área	Número	Questão
Qualidade do conteúdo	Q1	Você acha que os exercícios de laboratório são bem-organizados?
	Q2	Você acha que a carga de trabalho é distribuída de forma eficiente entre os exercícios?
	Q3	Você acha que as instruções para o laboratório. Os exercícios foram claros?
	Q4	Você acha que o material de instrução é suficiente para entender as tarefas?
	Q5	Você acha que esses exercícios de laboratório foram úteis para a sua educação posterior, bem como para o conhecimento geral?
Eficácia potencial	Q1	Você acha que obteve um nível suficiente de habilidades para aplicá-las em seu futuro engajamento profissional?
	Q2	Você acha que melhorou suas habilidades técnicas enquanto trabalhava no testbed (em vez de trabalhar nos PCs ou em um ambiente de simulação)?
	Q3	Você acha que trabalhar na bancada de testes proporcionou a você um ambiente de experimentação mais realista do que os simuladores normalmente utilizados na educação?
	Q4	Você acha que seu conhecimento de programação, virtualização e software de rede é suficiente como ponto de partida para seguir uma carreira nessa direção?
	Q5	Você acha que o conhecimento e as habilidades que adquiriu são benéficos e atraentes para as necessidades do setor atualmente?
Base técnica do curso	Q1	Você acha que trabalhar nos recursos de teste é o mesmo que trabalhar nas máquinas práticas do laboratório?
	Q2	Sua experiência anterior em trabalhar com sistemas baseados em Linux o ajudou a compreender o trabalho prático em gerenciamento de rede?
	Q3	Você achou o seu trabalho no testbed útil para suas habilidades técnicas gerais?
	Q4	Você acha que é uma vantagem ter recursos disponíveis de forma mais flexível do que na sala de aula?
	Q5	Você se sente mais confortável trabalhando em máquinas físicas (por exemplo, PCs), usando equipamentos de rede física (por exemplo, roteador WiFi, switch de rede)?
	Q6	Você acha que entende melhor os conceitos de SDN e NFV após a realização de exercícios de laboratório?
	Q7	Você acha que entende melhor os conceitos de gerenciamento de rede depois de realizar exercícios de laboratório?
	Q8	Esses exercícios de laboratório motivam você a explorar ainda mais a containerização do Docker para implantar um grande conjunto de aplicativos?
	Q9	Essa abordagem técnica intrigou você a seguir cursos semelhantes na universidade ou fora dela?

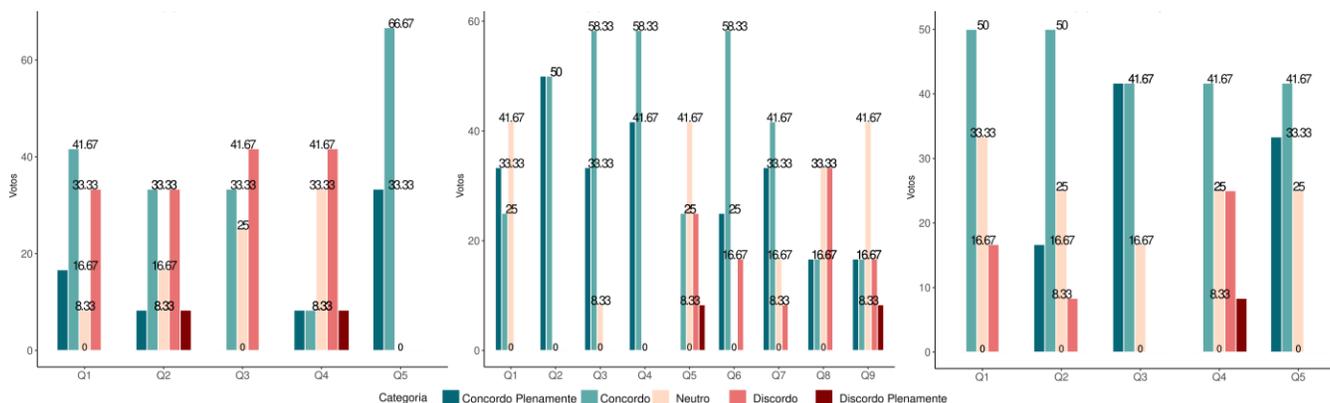


Figure 5: Resultado da pesquisa da plataforma educacional

direção de carreira inovadora e promissora. Além disso, o uso de testbeds virtualizados como o Citylab para o ensino acadêmico ainda não é tão difundido como deveria, mas esforços nessa direção já estão sendo feitos [19].

Dada a importância de apresentar laboratórios práticos aos alunos, alguns pesquisadores já fizeram alguns esforços nesse sentido. Slamnik-Kriještorac et al. criou um projeto de laboratório de rede de baixo custo para Sistemas Distribuídos usando Raspberry Pis [8]. Os autores apresentam os conceitos de sistemas distribuídos aos alunos que aprofundam o desenvolvimento destes sistemas em laboratórios práticos. A pesquisa que os autores elaboraram para que os alunos avaliassem sua experiência com a experimentação prática resultou em um valioso feedback, que os ajudou a reconhecer as dificuldades de cada etapa do projeto e a eficácia prática

laboratórios práticos em cursos online [20]. Os autores afirmam que uma abordagem prática, mesmo em cursos remotos, é essencial para áreas específicas que não são totalmente teóricas, como as redes de computadores. Eles explicam passo a passo os avanços e como conseguiram estender com sucesso as aulas práticas para os cursos online, reforçando a importância do contato dos alunos com os exercícios práticos. Assim, a seleção das ferramentas fundamentais para o gerenciamento de redes e os esforços para o ensino prático em laboratórios destacam a importância desse movimento dos cursos de gerenciamento de redes para uma abordagem de ensino prático.

IV. AVALIAÇÃO

Uma das formas fundamentais para manter a qualidade das aulas é a realização de pesquisas com os alunos, pois isso ajuda

TABELA IV
QUESTÕES DE PESQUISA SOBRE AS MEDIDAS TOMADAS DE AULAS REMOTAS

Área	Número	Questões	
Aulas	Q1	Você acha uma sala de aula remota para ministrar palestras como um substituto adequado para uma tradicional?	
	Q2	Você se sente confortável para interagir com o professor durante as aulas?	
	Q3	Você acha que possíveis problemas de conectividade de rede podem impedi-lo de entender o material?	
	Q4	Você perde facilmente o foco durante palestras remotas?	
	Q5	Você acha que pode se preparar para as aulas na sala de aula invertida com mais eficiência do que na tradicional?	
Exercícios de laboratório	Parte 1	Q1	Você acha que uma sala de aula remota para fazer exercícios de laboratório e experimentação como um substituto adequado para o tradicional em laboratório?
		Q2	Você se sente confortável interagindo com os assistentes de ensino durante as sessões de laboratório?
		Q3	Os problemas de conectividade de rede influenciaram sua interação com os assistentes de ensino (ou seja, impedindo você de compartilhar a tela)?
		Q4	Você acha que a ausência física dos assistentes de ensino afetou sua compreensão do material de laboratório?
		Q5	Você acha que os grupos de breakout são uma substituição adequada para trabalhar em estreita colaboração com colegas de equipe em um ambiente de laboratório físico?
		Q6	Você acha que os professores assistentes lidaram com eficiência com o gerenciamento de grupos de breakout?
	Parte 2	Q7	Você está satisfeito com a rapidez do feedback do assistente em seu grupo de discussão?
		Q8	Você acha que a interação remota com seus colegas de equipe está em um nível satisfatório?
		Q9	Você acha que trabalharia mais e com mais eficiência se estivesse em um laboratório físico?
		Q10	Você acha que a experimentação remota e a entrega remota de sessões de laboratório afetaram positivamente seus resultados de aprendizagem?
		Q11	Você acha que pode usar o tempo com mais eficiência enquanto trabalha no projeto em um ambiente remoto?
Enquetes	Q1	Você acha que as enquetes curtas no Blackboard Collaborate foram claras e inequívocas?	
	Q2	As enquetes ajudaram você a entender melhor o assunto das aulas teóricas e práticas?	
	Q3	As enquetes curtas ajudaram você a corrigir mal-entendidos de partes ou palestras inteiras?	
	Q4	Você e sentiu confortável para participar das enquetes, visto que não eram anônimas?	
	Q5	Você acha que as enquetes, como ferramenta auxiliar, são uma boa prática em geral?	
Combinem	Material de estudo	Q1	Você acha que o material de estudo na plataforma Blackboard está organizado de forma eficiente (ou seja, fácil de acessar e encontrar o material de aula / sessão de laboratório necessário)?
		Q2	Você acha que o material é carregado em tempo hábil (você aproveita a leitura do material antes das aulas / sessões de laboratório)?
	Interação com os alunos	Q1	Você considera o sistema de gravação de seminários adequado e eficiente em termos de tempo?
		Q1	Você acha que o serviço de envio de material eletrônico do aluno na plataforma Blackboard é útil e mais prático do que a distribuição de material por e-mail?
		Q2	Você acha que anúncios importantes são entregues aos alunos em tempo hábil, graças a ferramenta da plataforma Blackboard para envio de e-mail em massa?
	Gravações	Q1	Você acha que gravar palestras geralmente é uma prática útil para todos os cursos?
		Q2	Você aproveita as sessões gravadas enquanto estuda o material após as palestras?

laboratorial.

Além disso, Gercek et al. disserta sobre como implementar

os educadores a adequar o conteúdo das sessões de acordo com as necessidades dos alunos. Esse processo cíclico deve ser

seguido para implementar uma reparação contínua na plataforma educacional.

Depois de criar uma plataforma educacional adaptada ao cronograma da instituição e aos resultados esperados, a pré-pesquisa pode ser aplicada para avaliar o conhecimento e as habilidades dos alunos em um nível de entrada. No final do período acadêmico, a pós-pesquisa deve ser aplicada para coletar o feedback sobre a qualidade do conteúdo, eficácia potencial e a base técnica. Isso fornecerá informações sobre as habilidades adquiridas pelos alunos em comparação com o pré-questionário e ajudará a ajustar a estrutura educacional de acordo com os resultados

A. Organização da pesquisa

A pesquisa de alunos e professores auxilia na validação e atualização do curso. A aplicação de um questionário aos alunos pode subsidiar a avaliação da eficácia do ensino. Portanto, identificamos três áreas que apoiam a avaliação da estrutura educacional: (i) Qualidade do Conteúdo, (ii) Eficácia

conhecimentos após a aplicação da plataforma educacional. As questões para cada área podem ser vistas na Tabela III.

Durante a aplicação da plataforma educacional, enfrentamos desafios impostos pela pandemia mundial de COVID-19. Assim, com efeito imediato, as aulas passaram do tradicional físico para apenas remoto. Uma vez que se espera que tais circunstâncias tenham um impacto no processo de ensino e aquisição de conhecimento, elaboramos a segunda pesquisa para coletar feedback e compreender o real impacto do COVID-19 nesta estrutura educacional. Esta pesquisa é mostrada na Tabela IV.

Para coletar e compreender as informações como percepção de qualidade e autoaperfeiçoamento, as questões das pesquisas foram implementadas em uma escala de 5-Likert. Nas próximas seções, apresentamos os resultados das duas pesquisas mencionadas acima. As pesquisas foram aplicadas após o término do curso e recebemos o feedback de cerca de 45,5% dos alunos. Esperaríamos um envolvimento muito maior dos alunos no processo de pesquisa se aplicássemos a pesquisa no

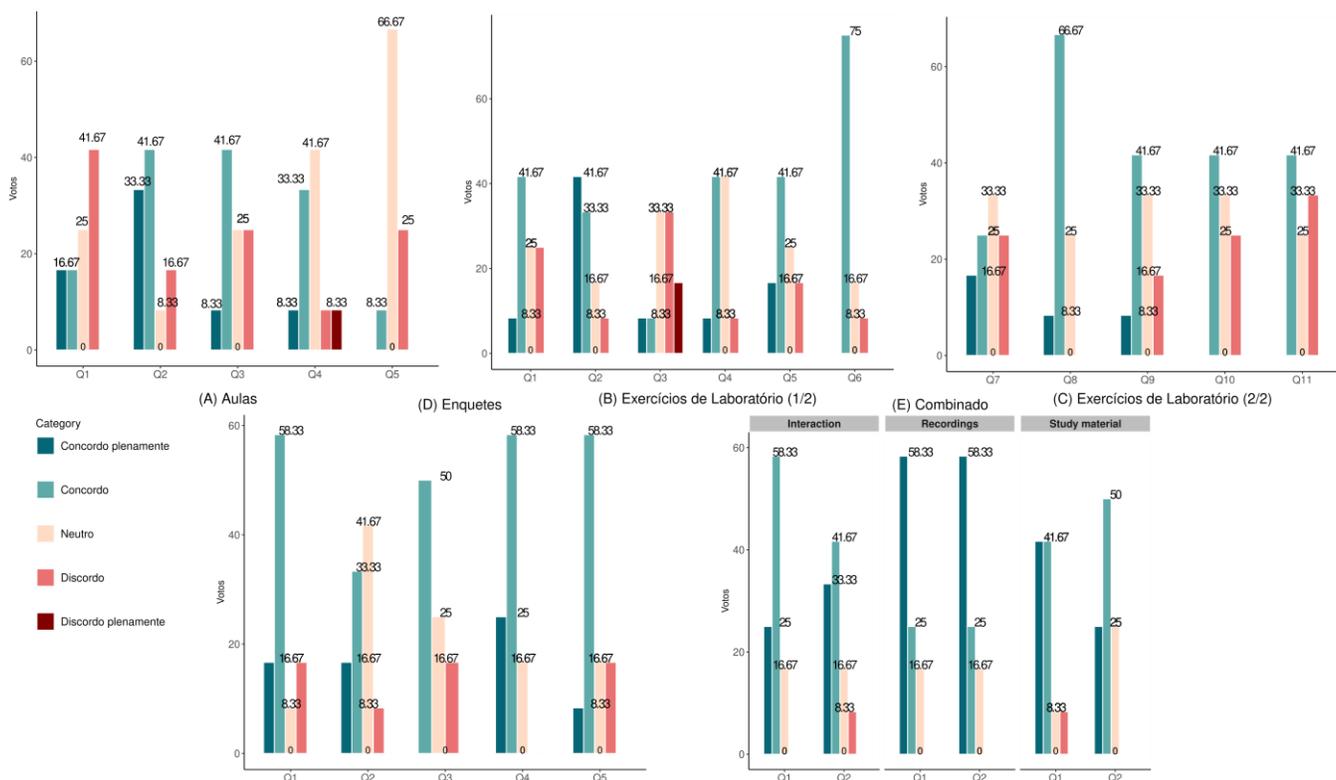


Figure 6: Resultados da pesquisa de impacto da COVID-19

Potencial e (iii) Base Técnica.

A Qualidade do Conteúdo avalia como o conteúdo é entregue aos alunos e o nível de dificuldade percebido por eles. O feedback dos alunos sobre como se sentem preparados para a academia ou indústria é estudado em Eficácia Potencial. A Base Técnica avalia o delta de conhecimento funcional dos alunos, por exemplo, qual é o nível de especialização em uma ferramenta/área específica e como eles percebem seus

início do semestre. No entanto, argumentamos que a participação na pesquisa foi afetada pelo fato de a pesquisa ter sido iniciada no final do curso, e a priorização dos alunos nos exames finais contribuiu para isso.

B. Resultados da plataforma educacional

Analisando os resultados da pesquisa sobre as especificidades da plataforma educacional, primeiro nos referimos às respostas sobre a Qualidade do Conteúdo. Quando

questionados sobre a utilidade dos exercícios de laboratório para a sua formação, vemos que a maioria dos alunos avaliou positivamente o impacto do nosso curso (33,3% de "Fortemente Afirmativa" e 66,6% de "Afirmativa"). Porém, embora avaliem a carga horária como sendo eficientemente distribuída entre os exercícios, vemos que mais de 50% dos alunos tiveram dificuldades com a organização do curso. Portanto, como uma primeira demonstração da estrutura educacional, poderíamos destacar a importância do tema e das ferramentas utilizadas, mas também anunciar as futuras melhorias na organização que precisam ser feitas.

Os alunos também avaliaram a Base Técnica da plataforma educacional. A ausência do nó de processamento e dos componentes de rede fisicamente não foram perdidos pela maioria dos alunos, tendo 75% dos alunos "Fortemente Negativo" a "Neutro" quando questionado Q5 (Ver Tabela III), o que leva à conclusão de que o a maioria dos alunos se sente confortável com o uso de testbeds remotos. Além disso, a flexibilidade proporcionada pela implantação da plataforma educacional no testbed teve a aprovação de 100% dos alunos pesquisados. Numa visão mais técnica do conteúdo do referencial educacional, 83,33% dos alunos questionaram se poderiam compreender melhor os conceitos de SDN e NFV após a realização de exercícios laboratoriais responderam positivamente.

A seção de eficácia potencial apresenta uma satisfação de 41% dos alunos pesquisados quando questionados se o conteúdo do curso é suficiente como ponto de partida para seguir uma carreira nesta direção. Este resultado evidencia a necessidade de estender o conteúdo do curso a ferramentas mais complexas, ou mesmo o aprimoramento da organização, conforme destacado na seção Qualidade do Conteúdo, poderia aumentar a confiança dos alunos nesta área de atuação. Além de não se sentir confiante para entrar no setor, podemos observar que 75% da amostra concorda que as habilidades e conhecimentos adquiridos durante o curso são benéficos e atrativos para as necessidades do setor. Esse resultado reforça a necessidade de extensão do conteúdo do curso.

C. Impacto da COVID-19 nos resultados

A pandemia COVID-19, que foi relatada pela primeira vez no final de 2019 na China, nos trouxe a enfrentar uma nova realidade em nossas tarefas diárias, e educação e universidade não eram diferentes. A adoção das aulas online foi essencial para a continuidade da vida escolar de vários alunos. Em função da mudança dos cursos presenciais, a avaliação da estrutura educacional precisa levar em conta o quanto essa pandemia sem precedentes afetou sua eficácia. Na Tabela IV, são apresentadas as questões da pesquisa de impacto COVID-19. Essas questões são classificadas em quatro partes: Aulas, Exercícios de laboratório, Enquetes e Combinado. Em Aulas, avaliamos o quanto a adoção de aulas online afetou o aprendizado teórico dos alunos.

Apresentamos o quanto a migração do presencial para o online afetou os exercícios de laboratório de gerenciamento de rede na parte de exercícios de laboratório. Nesse caso, coletamos o feedback dos alunos sobre um sistema de votação usado durante as aulas online. Além disso, apresentamos uma

compilação de três áreas com duas questões, cada uma com o objetivo de como o curso poderia adaptar seu conteúdo às aulas online. Essas áreas são Interação, Gravações e Material de Estudo.

Os primeiros resultados analisados foram as Palestras, e podemos perceber primeiro um percentual significativo de neutros / discordantes em dois tópicos: (i) quando questionados se a sala de aula remota seria um substituto adequado para a tradicional; (ii) se o aluno poderia se preparar de forma mais eficiente para palestras em salas de aula remotas. Essas duas questões apresentam a visão dos alunos de que as aulas online não trazem ganho de eficiência por parte do aluno, e que 41,67% dos alunos não acham que as aulas online são um substituto adequado para o tradicional. No entanto, 75% da amostra de alunos também respondeu que se sente à vontade para interagir com o professor. Portanto, outros fatores que não a interação professor-aluno e o conteúdo (é o mesmo para os dois tipos de aulas) fazem parte de quase metade da experiência insatisfatória de nossa amostra de alunos.

É uma parte essencial da pesquisa sobre os exercícios de laboratório, visto que as aulas práticas de um curso costumam ser muito interativas, e a passagem do presencial para o online pode ter um impacto significativo. Ao contrário das aulas teóricas, nossos resultados mostram que 50% dos alunos acham que uma sala de aula remota para aulas práticas é um substituto adequado para o tradicional no laboratório. Além disso, os alunos discordaram de forma coerente que a conectividade com a internet não era um problema, e a interação com o auxiliar de ensino não foi um desafio no processo de aprendizagem, tendo 75% concordaram e 58,33% neutros para discordar, respectivamente. Além disso, a interação com os professores assistentes e a conectividade com a Internet não foram um problema para os alunos. Apenas 8,33% discordaram que a ausência física dos auxiliares de ensino afetou sua compreensão do material de laboratório.

Nos exercícios de laboratório parte 2, podemos ver que no Q9, apenas 16,67% dos alunos discordam que trabalhariam mais em um laboratório físico. Além disso, a amostra mostra que, no Q11, os alunos dividiram opiniões quando questionados se experimentaram uma melhoria na eficiência da gestão do tempo enquanto trabalhavam em ambientes remotos. Enquanto 41,67% da amostra concordou que melhoraram a eficiência do gerenciamento do tempo, 33,33% discordaram. Além disso, é importante destacar a concordância de 75% de que a interação com os companheiros foi satisfatória. Portanto, para os exercícios de laboratório, os alunos se sentem confortáveis interagindo com colegas de equipe e assistentes de ensino, mas ainda acham que teriam melhor desempenho nas aulas presenciais de laboratório.

A votação é uma forma de interação com os alunos. Nos resultados desta pesquisa, nossa amostra mostrou uma experiência positiva quando tal ferramenta foi utilizada. No geral, o percentual máximo de discordância apresentado relacionado à pesquisa foi de 16,67%. Como ferramenta adicional, questões como se as pesquisas eram uma boa prática, mostraram que 66,66% concordaram. Presumir que, para ambientes online, a utilização de enquetes para coletar feedback dos alunos é um método eficiente.

A parte da pesquisa denominada combinada apresenta os resultados de três tópicos diferentes: Material de Estudo, Interação com os alunos e Gravações, para avaliar os métodos de distribuição e interação do conteúdo. Foi questionado se a disponibilidade online do material do curso foi benéfica e se

os alunos utilizaram este recurso para aprimorar seu aprendizado, e mais de 83% dos alunos responderam que concorda totalmente ou concorda para o Q1, e 75% concordam com o Q2. Ferramentas para os alunos fazerem upload de projetos e entregar anúncios importantes foram categorizadas em Interação com os alunos. Esse tipo de instrumento ficou satisfeito com os alunos pesquisados, por ser uma forma organizada e eficiente de entrega de notificações (83,33%) e por ser um excelente método para enviar lembretes e relatórios essenciais dentro do prazo (75%). Além do resultado positivo para os tópicos acima, a Gravação das aulas para aproveitamento tardio pelos alunos não apresentou nenhum feedback negativo ao perguntar se são úteis e se utilizam o material após a aula ministrada. Portanto, as ferramentas utilizadas para as aulas online deste curso foram úteis para o processo de aprendizagem dos alunos.

V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo, apresentamos os conceitos fundamentais de um SFC e a organização de aulas práticas para um curso de gerenciamento de redes. O planejamento das sessões práticas com base nos conteúdos lecionados anteriormente nas outras sessões ajuda a reforçar a teoria. Portanto, criamos uma plataforma educacional bem estruturada e orientada por os objetivos para o ensino de SFC para orientar a preparação de laboratórios de ensino prático. Além disso, elaboramos uma pesquisa para analisar o desempenho da estrutura educacional com base na experiência de aprendizagem dos alunos.

Analisando os resultados das pesquisas aplicadas, podemos concluir que o referencial educacional é um bom ponto de partida para aproximar os alunos do que vem sendo feito na indústria no setor de gestão de redes. No entanto, algumas melhorias na organização podem melhorar a experiência de aprendizagem. A situação do COVID-19 também impactou a experiência de aprendizagem do curso de Gerenciamento de Redes, uma vez que a maioria dos alunos relatou que teria melhor desempenho em laboratório físico além da interação com o professor não ser comprometida. Como trabalhos futuros, pretendemos melhorar a organização dos conteúdos para o próximo ano letivo, e voltar a aplicar o ciclo de manutenção de enquadramentos educacionais, de forma a preparar ainda melhor os alunos para o futuro mercado de redes informáticas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu financiamento parcial do projeto Fed4FIRE+ sob o acordo de subvenção nº 732638 do Programa de Investigação e Inovação Horizonte 2020, que é cofinanciado pela Comissão Europeia e pela Secretaria de Estado Suíça para

a Educação, Investigação e Inovação.

REFERÊNCIAS

- [1] H. C. de Resende et al., "Introducing Engineering Undergraduate Students to Network Management Techniques: a Hands-on approach using the Citylab Smart City," in 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2020, pp. 1316–1324. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1109/EDUCON45650.2020.9125159>
- [2] D. Bhamare et al., "A Survey on Service Function Chaining," Journal of Network and Computer Applications, vol. 75, no. C, pp. 138–155, Nov. 2016. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.09.001>
- [3] M. J. Philip Wells, "Google Cloud networking in depth: How Andromeda 2.2 enables high-throughput VMs," Google, Tech. Rep., July 2019. [Online]. Disponível: <https://cloud.google.com/blog/products/networking/google-cloud-networking-in-depth-how-andromeda-2-2-enables-high-throughput-vm-s>
- [4] I. Amazon Web Services, "White paper: Aws well-architected framework," Amazon Web Services, Inc., Tech. Rep., July 2019. [Online]. Disponível: https://d1.awsstatic.com/whitepapers/architecture/AWS-Well-Architected-Framework.pdf?did=wp_card&trk=wp_card
- [5] (2019) High-Tech Skills Industry: Increasing EU's talent pool and promoting the highest quality standards in support of digital transformation. web site. European Commission. [Online]. Disponível: https://skills4industry.eu/sites/default/files/2019-06/Brochure_Digiframe_final20190617.pdf
- [6] A. Garcia et al., "The ICT skills gap in Spain: Industry expectations versus university preparation," Computer Applications in Engineering Education - COMPUT APPL ENG EDUC, vol. 21, 06 2013. [Online]. Disponível: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.20467>
- [7] (2016, July) ICT professionals: skills opportunities and challenges. web site. European Commission. [Online]. Disponível: https://skillspanorama.cedefop.europa.eu/en/analytical_highlights/ict-professionals-skills-opportunities-and-challenges-2016
- [8] N. Slamnik-Kriještorac et al., "Enhancing students' learning experience via low-cost network laboratories," IEEE Communications Magazine, vol. 57, no. 11, pp. 34–40, November 2019. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900233>
- [9] K. Croker et al., "Enhancing the student experience of laboratory practicals through digital video guides," Bioscience Education, vol. 16, no. 1, pp. 1–13, 2010. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.3108/beej.16.2>
- [10] J. Struye et al., "The CityLab testbed — Large-scale multi-technology wireless experimentation in a city environment: Neural network-based interference prediction in a smart city," in IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHOPS), April 2018, pp. 529–534. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMW.2018.8407018>
- [11] L. T. Bolivar et al., "On the Deployment of an Open-Source, 5G-Aware Evaluation Testbed," in 6th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud), March 2018, pp. 51–58. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1109/MobileCloud.2018.00016>
- [12] (2018) Migration from physical to virtual network functions: Best practices and lessons learned. web site. GSM Association. [Online]. Disponível: <https://www.gsma.com/futurenetworks/5g/migration-from-physical-to-virtual-network-functions-best-practices-and-lessons-learned/>
- [13] (2018, April) Nog nooit zoveel ICT'ers te kort. web site. Agoria. [Online]. Disponível: <https://www.agoria.be/nl/Nog-nooit-zoveel-ICT-ers-te-kort>
- [14] M. Gao et al., "Optimal orchestration of virtual network functions," Computer Networks, vol. 142, pp. 108 – 127, 2018. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.06.006>

Como citar este artículo: H. C. de Resende, N. Slamnik-Kriještorac, C. B. Both and J. M. Marquez-Barja, "Utilizing the Smart City to Train Engineering Students on Network Management Topics During the COVID-19 Pandemic," in IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 17, no. 1, pp. 56-66, Feb. 2022, doi: 10.1109/RITA.2022.3149774.

- [15] (2019) Opendaylight. web site. OpenDaylight Foundation. [Online]. Disponível: <https://www.opendaylight.org/>
- [16] (2019) Ryu sdn framework. web site. Ryu SDN Framework Community. [Online]. Disponível: <https://osrg.github.io/ryu/>
- [17] (2019, december) jFed. web site. imec. [Online]. Disponível: <https://jfed.ilabt.imec.be/>
- [18] (2019, december) iPerf - The TCP, UDP and SCTP network bandwidth measurement tool. web site. Jon Dugan, Seth Elliott, Bruce A. Mah, Jeff Poskanzer, Kaustubh Prabhu. [Online]. Disponível: <https://iperf.fr/>
- [19] J. M. Marquez-Barja et al., "Virtualizing testbed resources to enable remote experimentation in online telecommunications education," in IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), March 2015, pp. 836–843. [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2015.7096069>
- [20] G. Gercek, N. Saleem, and D. Steel, "Implementing cloud based virtual computer network labs for online education: Experiences from a phased approach," International Journal of Online and Biomedical Engineering, vol. 12, pp. 70–76, 2016. [Online]. Disponível: <https://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/5564/3858>

experimentation in e-learning systems. Prof. Marquez-Barja has given several keynotes and invited talks in different major events, as well as received 30 awards in his career so far, and co-authored more than 180 published works including publications, editorials, and books. He is also serving as Editor and Guest editor for different International Journals, as well as participating in several Technical Programme and Organizing Committees for several worldwide conferences/congresses. Prof. Marquez-Barja received his Bachelor and Msc. in Systems Engineering in 2002 at the Royal Saint Francis University (UMRPSFXCH, Bolivia), Msc. in Telematics at CUJAE University (Cuba) in 2004, Msc. in Computer Architecture at University Politechnic of Valencia in 2008, Spain, to then obtain his PhD. on Wireless Networks in the same University in 2012. After that he was Postdoc and Research Assistant Professor at CONNECT, Trinity College Dublin, Ireland. As above mentioned, Prof. Marquez-Barja is now a full professor at University of Antwerp, Belgium, and IMEC, Belgium.

Henrique Carvalho de Resende is currently a Ph.D. candidate with the University of Antwerp–imec, Belgium. He received his B.Sc. degree in computer science from the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). He is within the IDLab research group which is involved in applied and fundamental research in the area of communication networks. He is co-supervised by Prof. Dr. Johann Marquez-Barja and Prof. Dr. Cristiano Bonato Both. His main interests are end-to-end network slicing, 5G core, and Multi-access Edge Computing (MEC). He is involved in research projects such as H2020 ProTego, ICON HAI-SCS, and H2020 DEDICAT-6G.

Nina Slamnik-Kriještorac is currently a PhD researcher in the field of Applied Engineering Sciences, at the University of Antwerp and the IMEC research center in Belgium. She obtained her Master degree in telecommunications engineering at Faculty of Electrical Engineering, University of Sarajevo Bosnia and Herzegovina, in July 2016. In the period from 2016 to 2018, she worked as a Teaching Assistant at University of Sarajevo. She authored or co-authored several publications in journals and international conferences. Her current research is mostly based on NFV/SDN-based network architectures with edge computing for vehicular systems, and the management and orchestration of the flexible and programmable next generation end-to-end network resources and services.

Cristiano Bonato Both is an associate professor of the Applied Computing Graduate Program at the University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brazil. He coordinates research projects funded by H2020 EU-Brazil, CNPq, FAPERGS, and RNP. His research focuses on wireless networks, next generation networks, softwarization and virtualization technologies for telecommunication network, and SDN-like solutions for the Internet of Things. He is participating in several Technical Programme and Organizing Committees for different worldwide conferences and congresses.

Johann M. Marquez-Barja is a Professor at University of Antwerp, as well as a Professor in IMEC, Belgium. He is leading the Wireless Cluster at IDLab/imec Antwerp. He was and is involved in several European research projects such as CREW, FORGE, WiSHFUL, Fed4FIRE/FAVORITE, Fed4FIRE+, eWINE, CONCORDA, 5G-CARMEN, FLEXNET, FUTEBOL (Technical Coordinator), 5G-Mobix, PROTEGO, InterConnect, Dedicat-6G, Daemon, Vital-5G and 5G-Blueprint (Technical Coordinator) projects. He is a member of ACM, and a Senior member of the IEEE Communications Society, IEEE Vehicular Technology Society, and IEEE Education Society where he participates in the board of the Standards Committee. His main research interests are: 5G advanced architectures including edge computing; flexible and programmable future end-to-end networks; IoT communications and applications. He is also interested in vehicular communications, mobility, and smart cities deployments. Prof. Marquez-Barja is co-leading the Citylab Smart City testbed, part of the City of Things programme, and the SmartHighway testbed, both located in Antwerp, Belgium. Furthermore, he is also interested and active on education development, being actively involved in different research actions to enhance engineering education, in particular remote