

RIPSim - Um Simulador para o Protocolo de Roteamento RIP

Helcio Wagner da Silva

Departamento de Computação
Universidade Federal do Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Mossoró – RN – Brasil
helcio@ufersa.edu.br

Abstract. *This article presents RIPSim, a RIP simulator developed using the Unity game engine. Its requirements were derived from observations about the tools traditionally used in the study of that protocol which spotted some required functionalities. Despite being restricted to built-in scenarios, RIPSim allows its users to visualize route transmission animations and their instantaneous impacts on routing tables of the routers in those scenarios. Moreover, it is possible to set packet flows any time and to block links between routers to observe its effects. Those functionalities make RIPSim a tool complementary to those ones already used.*

Resumo. *Este artigo apresenta o RIPSim, um simulador para o protocolo RIP desenvolvido utilizando o motor de jogos Unity. Seus requisitos foram derivados de observações acerca das ferramentas tradicionalmente utilizados no ensino daquele protocolo, que identificaram algumas funcionalidades desejadas. Apesar de estar restrito a cenários pré-estabelecidos, o RIPSim permite a seus usuários visualizar a transmissão animada de rotas e seu impacto instantâneo nas tabelas de rotas dos roteadores naqueles cenários. Além disso, é possível estabelecer fluxos de pacotes e bloquear enlaces para observar seus efeitos. Estas funcionalidades permitem que o RIPSim seja utilizado como um complemento às ferramentas tradicionalmente já utilizadas.*

1. Introdução

A utilização de simuladores no processo de ensino e aprendizagem constitui uma abordagem pedagógica denominada SBL (*Simulation-Based Learning*), permitindo aliar teoria e prática sem a necessidade de gastos financeiros elevados. Enquanto [Chernikova *et al* 2020] realiza uma meta-análise dos vários aspectos do SBL aplicados ao ensino superior de maneira geral, mais recentemente [Asadi *et al* 2024] realizou uma revisão sistemática e uma análise bibliométrica sobre o SBL no ensino específico de redes de computadores em cursos superiores.

No curso de bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), as ferramentas mais utilizadas nas disciplinas relacionadas a área de Redes de Computadores são o simulador de redes Packet Tracer, desenvolvido pela empresa Cisco Systems [Cisco Systems 2024], e o emulador de rede GNS3 (*Graphical Network Simulator-3*), desenvolvido originalmente por Jeremy Grossmann [GNS3 Technologies Inc. 2024]. Tratam-se de softwares de grande envergadura que permitem a construção de interconexões de rede personalizadas em cima das quais vários protocolos de rede podem ser estudados. Contudo, embora a

construção das interconexões pode ser realizada graficamente, com o recurso de “arraste e solte”, a configuração de protocolos de rede e a monitoração de sua execução requer frequentemente a abertura de terminais nos quais o estudante deve aplicar comandos específicos ao fabricante de determinado equipamento. Isto é particularmente verdade no caso dos protocolos de roteamento dinâmico.

Este artigo descreve o processo de desenvolvimento de um simulador de um dos mais conhecidos protocolos de roteamento dinâmico, o RIP. Para tal, ele está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são descritas algumas características básicas do RIP necessárias à compreensão do simulador. A Seção 3 apresenta um contexto que define a necessidade da ferramenta. A Seção 4 apresenta o simulador em si, e a Seção 5 apresenta as considerações finais e direções futuras acerca dele.

2. Aspectos Operacionais do Protocolo RIP

No centro de qualquer interconexão de redes está o roteador. Trata-se de um equipamento com várias interfaces, cada uma delas conectada a uma rede, e capaz de realizar a comutação de pacotes com base em uma tabela de rotas denominada FIB (*Forwarding Information Base*). As rotas que compõem a FIB podem ser inseridas manualmente pelo administrador de redes (rotas *estáticas*) ou serem aprendidas automaticamente com a ajuda de protocolos específicos (rotas *dinâmicas*). Um destes protocolos é o RIP (*Routing Information Protocol*), cuja versão mais recente é especificada em [Malkin 1998]. Roteadores executando o RIP enviam periodicamente cópias de suas rotas para os seus vizinhos. Cada rota é representada por um prefixo de rede acompanhado de um custo. Na Figura 1, o roteador R3 é conectado aos roteadores R1 e R2 e recebe de cada um deles uma rota para uma rede N . A rota enviada por R1 possui custo igual a 2, enquanto a rota enviada por R2 possui custo igual a 3.

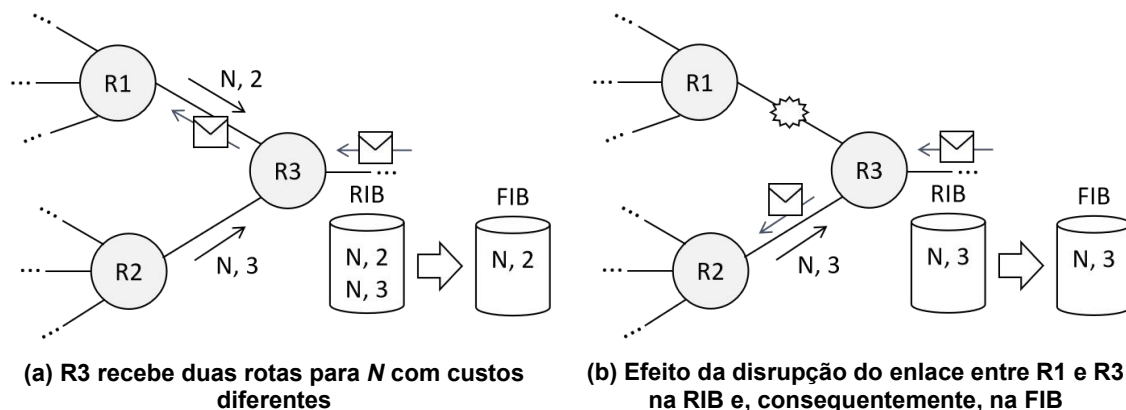


Figura 1. Aspectos operacionais do RIP

Além da FIB, cada roteador possui uma outra tabela denominada RIB (*Routing Information Base*) contendo todas as rotas recebidas pelo roteador. Na Figura 1a, por exemplo, a RIB de R3 contém as duas rotas para N recebidas por aquele roteador. A FIB é obtida a partir da seleção de rotas da RIB. Mais especificamente, as melhores rotas na RIB para cada destino (i.e., as rotas com o menor custo) são selecionadas para compor a FIB. Na Figura 1a, por exemplo, a rota enviada por R1 foi selecionada para a FIB porque possui um custo menor do que a rota enviada por R2. Assim, na Figura 1a, um pacote endereçado a N que chega a R3 é encaminhado pelo enlace que o conecta a R1.

A Figura 1b ilustra a importância de todas as rotas que compõem a RIB, mesmo aquelas que não foram selecionadas para a FIB. Nela, o enlace que conecta R1 a R3 sofre uma interrupção cujo efeito é a remoção da rota enviada por R1 para R3. Assim, a rota enviada por R2 passa a ser a única rota para *N* na RIB e, conseqüentemente, é a rota selecionada para a FIB. Portanto, a RIB é crucial para a implementação de tolerância a falhas. Na prática, as rotas não são removidas imediatamente das bases de dados. Um temporizador associado a cada rota na RIB é reinicializado a cada vez que uma cópia daquela rota é recebida pelo roteador - é esperado que uma cópia da rota seja recebida a cada 30 segundos, em média. Quando esta cópia não chega após um intervalo de tempo de 180 segundos, o custo associado à rota é alterado para 16, o que sinaliza, em termos do RIP, que o destino está inatingível. Esta alteração de custo tem o potencial de influenciar a FIB do roteador. Quando este intervalo de tempo chega a 240 segundos, a entrada é removida da RIB, tendo potencial impacto na FIB do roteador.

3. Observações Acerca das Ferramentas Utilizadas

Ao longo da experiência com o Packet Tracer e o GNS3 no estudo e no ensino dos protocolos de roteamento (e dentre eles o RIP), foram feitas algumas observações que levaram em consideração os seguintes aspectos operacionais destas ferramentas:

3.1. Possibilidade de Composição de Topologias Personalizadas

Tanto o simulador Packet Tracer quanto o emulador GNS3 permitem a seus usuários a criação de qualquer topologia do zero. Equipamentos como roteadores, *switches* e computadores podem ser adicionados utilizando a técnica *drag and drop* (arraste e solte) e interconectados utilizando enlaces de diferentes tecnologias.

3.2. Nível Elevado de Abstração Empregado na Configuração de uma Topologia

Ambas as ferramentas requerem que endereços IP sejam atribuídos a cada interface de rede conectada e que o RIP seja configurado em cada roteador. No Packet Tracer, os equipamentos possuem interfaces gráficas que facilitam a realização destes procedimentos. Por vezes, no entanto, é necessária a aplicação de comandos específicos da Cisco em consoles. No GNS3, a configuração dos equipamentos é feita exclusivamente pela abertura de consoles e aplicação de comandos específicos de seus fabricantes.

3.3. Visualização da Animação da Transmissão de Rotas

O Packet Tracer possui duas formas de funcionamento, denominadas *modo de tempo real* e *modo de simulação*. No modo de simulação, é possível selecionar o protocolo RIP e visualizar a animação da transmissão de rotas ao longo dos enlaces. Por outro lado, o emulador GNS3 não possui esse recurso; ainda que possa ser utilizado em conjunto o *sniffer* de pacotes Wireshark [Wireshark Foundation 2024] para visualizar o conteúdo de uma rota, o GNS3 não provê a animação de sua transmissão ao longo de um enlace.

3.4. Visualização da Alteração Instantânea da RIB e da FIB

Tanto o Packet Tracer quanto o GNS3 permitem a visualização da RIB e da FIB de um roteador; porém, somente em modo texto após a abertura de um terminal e a digitação de comandos específicos do fabricante do equipamento. Ainda assim, ambos não permitem a visualização do instante exato em que estas bases de dados são alteradas

pela recepção de uma nova rota ou pela interrupção de um enlace; estas alterações só podem ser visualizadas mediante uma nova aplicação de comandos utilizados para a visualização das tabelas após aqueles eventos.

As observações enumeradas acima apontam para ferramentas muito poderosas e flexíveis, mas que possuem alguns pontos que deixam a desejar no que diz respeito à compreensão do funcionamento do RIP. Isto motivou o desenvolvimento de um simulador que buscasse complementá-las durante o ensino do protocolo em questão. Neste contexto, a próxima seção descreve este simulador.

4. A Ferramenta Desenvolvida

A Figura 2 ilustra uma captura de tela da ferramenta desenvolvida, denominada RIPSIm. Esta captura contempla um dos seis cenários fixos elaborados. Em cada um deles, um roteador i é conectado a uma rede representada por um produtor de tráfego P_i e por um consumidor de tráfego C_i . Cada consumidor de tráfego possui uma cor que identifica a rede a qual ele pertence: verde, amarela, azul e violeta. O roteador i também conecta-se a outros roteadores através de enlaces ponto-a-ponto.

Associados a cada roteador i estão os seguintes elementos:

- Um temporizador que é utilizado para determinar quando o roteador irá enviar suas rotas. Em conformidade com [Malkin 1998], uma variável aleatória é escolhida periodicamente para que os valores assumidos pelo temporizador estejam dentro da faixa entre 25 segundos e 35 segundos, inclusive;
- A RIB, representada por uma tabela cujos campos são: a identificação de uma rede de destino; o custo até aquela rede; a porta do roteador a ser utilizada para encaminhar um pacote endereçado àquela rede; e um marcador de tempo (*timestamp*) que indica por quanto tempo, em segundos, aquela entrada encontra-se na RIB desde que uma cópia dela foi recebida pela última vez;
- A FIB, representada por uma tabela cujos três primeiros campos são idênticos aos da RIB, acrescidos de um quarto campo (*hits*) que indica quantos pacotes já foram encaminhados de acordo com as informações constantes naquela entrada. Este campo é particularmente útil para que o roteador realize balanceamento de carga quando ele possui mais de uma rota para uma determinada rede. Em particular, quando isto acontece, a rota escolhida é aquela que possui o menor valor de *hits*.

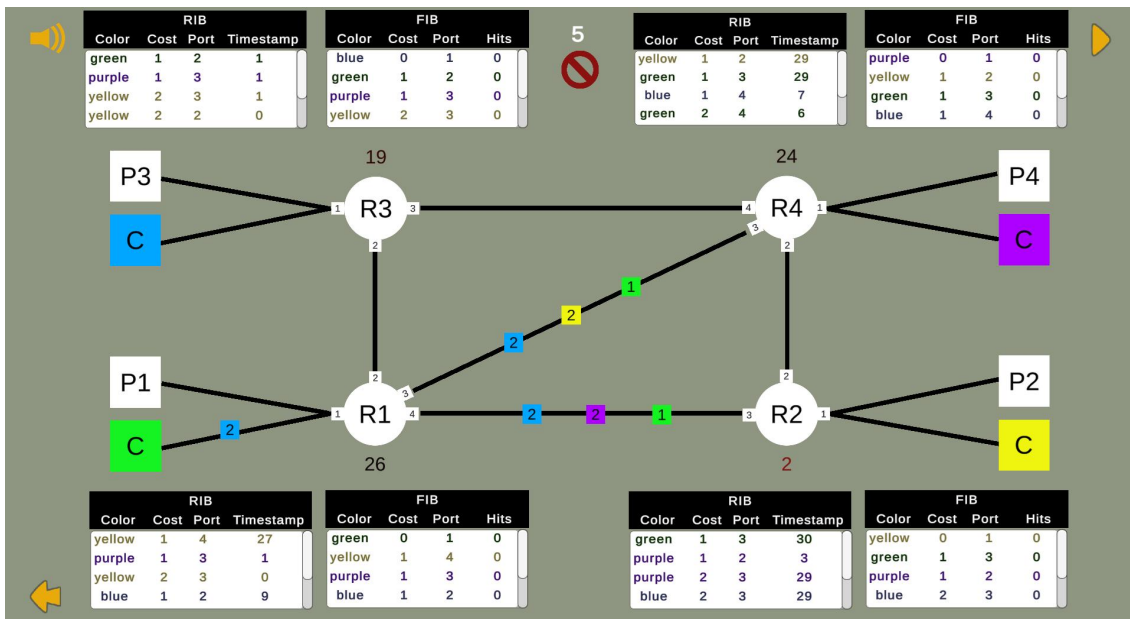


Figura 2. Captura de tela do RIPSIM

Cada vez que o usuário simula um mesmo cenário no RIPSIM, ele observa que a interconexão consegue atingir um mesmo estado de convergência - i.e., cada roteador passa a ter rotas para todas as redes na sua FIB. Porém, considerando que a dinâmica deste processo depende da sequência de transmissão das rotas (que por sua vez é regida pela variável aleatória associada ao temporizador de cada roteador), aquele usuário tem a possibilidade de observar a convergência da interconexão ocorrer de uma forma diferente a cada simulação. Esta é uma funcionalidade que tem um impacto pedagógico potencial muito importante.

Para além da observação da convergência de uma interconexão, o RIPSIM permite que o usuário realize intervenções. A primeira delas é o estabelecimento de fluxos de pacotes tendo como origem e destino quaisquer das redes presentes na interconexão. Para estabelecer um fluxo de pacotes com destino a uma rede de determinada cor, basta que o usuário clique sobre seu respectivo consumidor e, em seguida, desloque o mouse sobre qualquer um dos produtores da interconexão. A Figura 3, por exemplo, ilustra dois fluxos simultâneos de pacotes nas cores violeta e amarelo. Os pacotes são numerados sequencialmente e possuem cores que refletem a rede para a qual são destinados. Os roteadores envolvidos encaminham os pacotes de acordo com suas respectivas FIBs. Por exemplo, o roteador R1 encaminha os pacotes pertencentes ao fluxo de pacotes na cor violeta pela sua porta número 3, enquanto o roteador R3 encaminha os pacotes pertencentes ao fluxo de pacotes na cor amarela de maneira alternada pelas suas portas 2 e 3, realizando o balanceamento de cargas mencionado na Seção 2. Na Figura 3 são destacadas nas FIBs de R1 e R3 as entradas referentes às redes de cor amarela e violeta, respectivamente.

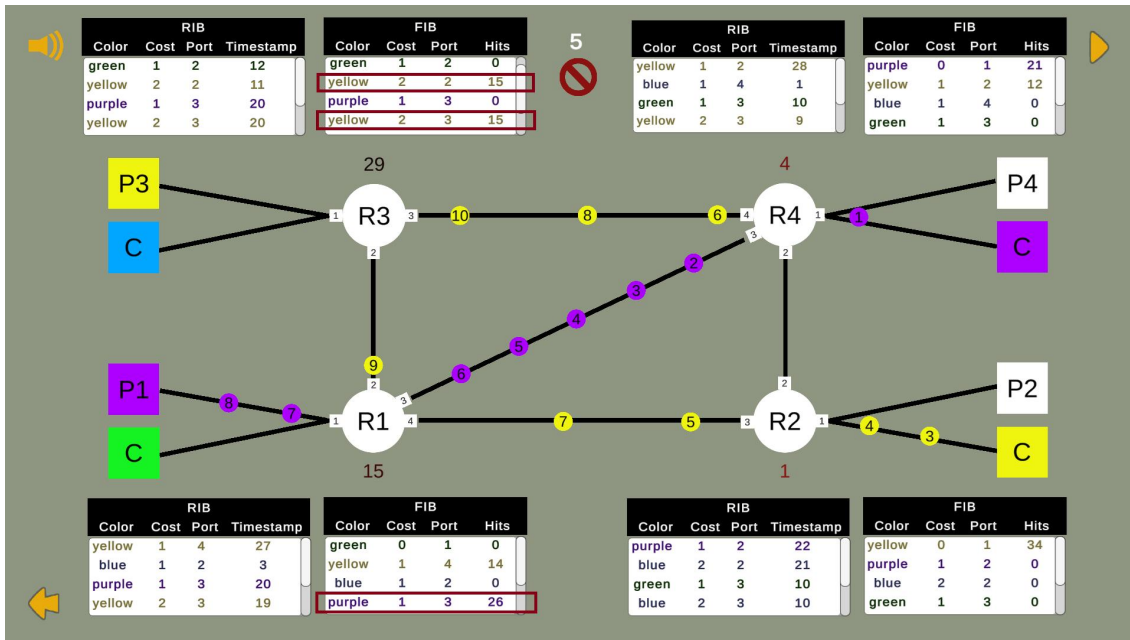


Figura 3. Estabelecimento de dois fluxos simultâneos

O RIPSIm também permite ao usuário bloquear cada um dos enlaces que interconectam os roteadores em uma interconexão e observar graficamente os efeitos desta disrupção em termos de reconfiguração da RIB e da FIB dos roteadores. Para bloquear um daqueles enlaces, basta que o usuário clique sobre um botão estilizado que informa a quantidade de bloqueadores disponíveis; um bloqueador será vinculado ao seu mouse e basta que ele o deposite no enlace desejado para bloqueá-lo. Nos cenários que apresentam topologias lineares, o usuário irá observar a perda de caminho para determinados destinos em um roteador. Contudo, nos cenários que apresentam topologias circulares ele poderá observar a tolerância a falhas citada na Seção 2 através da adoção de novos caminhos quando um ou mais enlaces são bloqueados. A Figura 4, por exemplo, ilustra como o roteador R1 passa a encaminhar pacotes endereçados à rede de cor violeta pela sua porta 2 na medida em que o usuário bloqueia os enlaces entre R1 e R4 e R1 e R2.

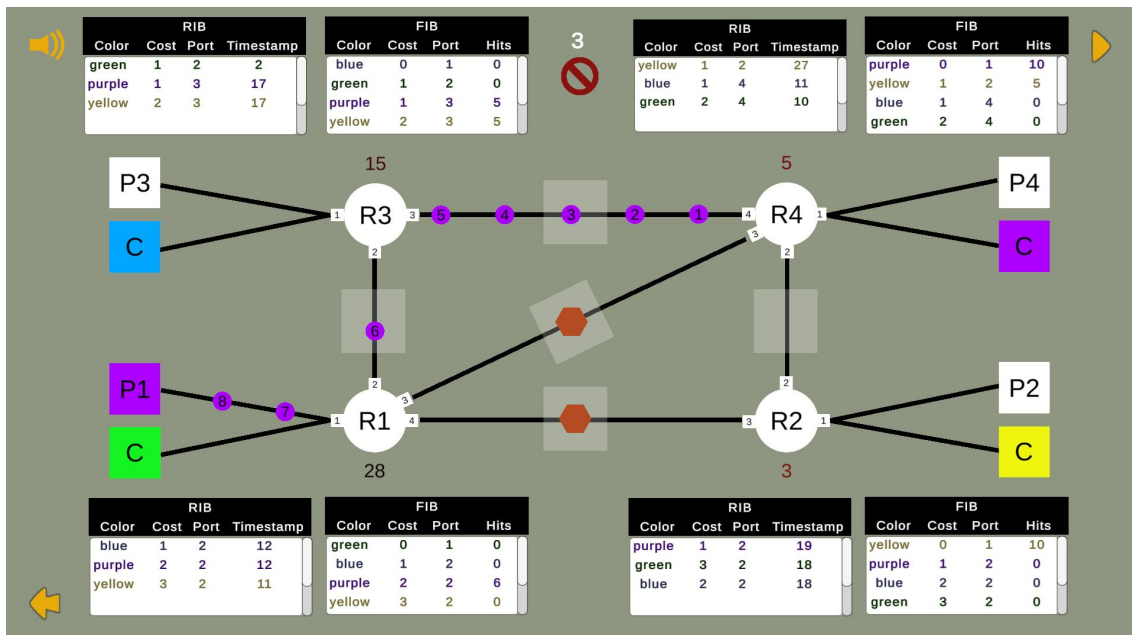


Figura 4. Utilização do bloqueio de enlace

O RIPSIM foi desenvolvido a partir da versão 2021.3.10f1 do motor de jogos Unity [Unity Technologies 2024], sendo disponibilizada uma versão de teste na URL <https://ripsim.netlify.app> para avaliação.

5. Considerações Finais

Este artigo apresentou o RIPSIM, um simulador para o RIP. Conforme mencionado na Seção 3, esta ferramenta não tem como objetivo substituir o Packet Tracer e o GNS3 no estudo do protocolo, mas sim complementá-las. A Tabela 1 localiza o RIPSIM frente àquelas ferramentas tradicionalmente utilizadas, levando-se em consideração os aspectos operacionais levantados anteriormente.

Tabela 1. Localização do RIPSIM frente às ferramentas tradicionais

Característica	Packet Tracer	GNS3	RIPSIM
Possibilidade de Composição de Topologias Personalizadas	Sim	Sim	Não
Nível Elevado de Abstração Empregado na Configuração de uma Topologia	Não	Não	Sim
Visualização da Animação da Transmissão de Rotas	Sim	Não	Sim
Visualização da Alteração Instantânea da RIB e da FIB	Não	Não	Sim

De fato, embora o RIPSIM esteja limitado a cenários predefinidos, ele não requer esforço algum de configuração. Neste contexto, sequer são aplicados endereços às interfaces dos roteadores, sendo as redes identificadas por cores ao invés de prefixos. Além disso, por ser uma ferramenta dedicada ao protocolo RIP, ele permite que o usuário visualize em tempo real a transmissão das rotas e seus efeitos instantâneos na RIB e na FIB de cada roteador. Somadas a possibilidade de estabelecimento de fluxos e

o bloqueio de enlaces, estas funcionalidades fazem do RIPSIm uma ferramenta promissora para o ensino daquele protocolo.

Os próximos passos a serão dados em dois caminhos simultaneamente. O primeiro deles será a aplicação de uma metodologia de avaliação do RIPSIm levando-se em conta sua aplicação em uma disciplina de graduação na área de Redes de Computadores. Em particular, será adotado o modelo TAM (*Technology Acceptance Model*) [Davis 1989], que é o modelo mais utilizado segundo a meta-análise realizada em [Asadi 2024]. O segundo caminho será o aperfeiçoamento da ferramenta através da elaboração e implementação de cenários adicionais e da otimização de certas partes do código.

Referências

- Asadi, S. *et al* (2024) “Simulation-based learning for computer and networking teaching: A systematic literature review and bibliometric analysis”. *Education and Information Technologies*, Springer. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12476-7>;
- Chernikova O. *et al* (2020) “Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis”. *Review of Educational Research*. Agosto de 2020, Vol. 90, No. 4, pp. 499–541. DOI: <https://doi.org/10.3102/0034654320933544>;
- Cisco Systems (2024) “Introduction to Packet Tracer: Discover and troubleshoot using powerful networking simulation tool”. Disponível em <https://www.netacad.com/courses/packet-tracer/introduction-packet-tracer>;
- Davis, F. (1989). “Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology”. *MIS Quarterly*, 13(3), pp. 319–340;
- GNS3 Technologies Inc. (2024) “GNS3: The software that empowers network professionals”. Disponível em <https://www.gns3.com/>;
- Malkin, G. (1998) “RIP Version 2”, RFC 2453. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/rfc2453>;
- Unity Technologies (2024) “Plataforma de desenvolvimento em tempo real do Unity | 3D, 2D, engine VR e AR”. Disponível em <https://unity.com/pt>.
- Wireshark Foundation (2024) “Wireshark - Go Deeper”. Disponível em <https://www.wireshark.org/>.