

Mateus Rodrigues da Silva
Orientador: Prof. Msc. Rayner Gomes

**Estudo sobre Network Slicing e o Uso de
Algoritmos Genéticos para Solução do
Problema de Mapeamento de Recursos sob a
Ótica do 5G**

Picos - PI
20 de janeiro de 2021

Mateus Rodrigues da Silva
Orientador: Prof. Msc. Rayner Gomes

Estudo sobre Network Slicing e o Uso de Algoritmos Genéticos para Solução do Problema de Mapeamento de Recursos sob a Ótica do 5G

Modelo de Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Sistemas de Informação na Universidade Federal do Piauí. Este modelo está em conformidade com as normas ABNT.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Heuvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
20 de janeiro de 2021

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por essa grande conquista, em segundo a minha família que sempre me apoiou e ao meu orientador professor Rayner Gomes. E dedico essa conquista a minha mãe que sempre lutou para que eu conseguisse superar todas as barreiras e conseguir alcançar meus objetivos.

"As vezes é preciso sair de cena para poder voltar forte."

Autor Desconhecido

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Helvídio Nunes de Barros
Biblioteca Setorial José Albano de Macêdo
Serviço de Processamento Técnico

S586e	<p>Silva, Mateus Rodrigues da Estudo sobre <i>Network Slicing</i> e o uso de algoritmos genéticos para solução do problema de mapeamento de recursos sob a ótica do 5G / Mateus Rodrigues da Silva – 2021.</p> <p>48 f.; CD-ROM 4 ¾ pol.</p> <p>Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Piauí, Picos-PI, 2021.</p> <p>“Orientador: Prof. Me. Rayner Gomes”</p> <p>1. Rede-Virtualização. 2. Redes-Fateamento. 3. Algoritmo Genético. Sistema computacional. 4. Redes virtuais-Mapeamento. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 004</p>
--------------	--



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS SENADOR HELVÍDIO NUNES DE BARROS
Curso de Sistemas de Informação



ATA DE APRESENTAÇÃO DE MONOGRAFIA Ano 2020, Semestre 01, Livro 21, Folha 05

Instala-se nesta data, 20 de Janeiro de 2021, a Banca Avaliadora da Monografia apresentada pelo(a) Acadêmico **Mateus Rodrigues da Silva**, sob o tema: “**Estudo sobre Network Slicing e o Uso de Algoritmos Genéticos para Solução do Problema de Mapeamento de Recursos sob a Ótica do 5G**”, orientado por mim **Rayner Gomes Sousa**, composta pelos professores **Ismael de Holanda Leal** e **Juliana Oliveira de Carvalho**, presidida por mim, **Rayner Gomes Sousa** nos termos do Regimento Interno do Curso de Sistemas de Informação e das normas pertinentes em vigor, como cumprimento do que estabelece a Matriz Curricular e o Projeto Pedagógico do Curso de Sistemas de Informação, devidamente aprovado pela UFPI. Para o que se estabelece:

- O Concluinte disporá de no mínimo 15 (quinze) minutos e no máximo 25 (vinte e cinco) minutos para a apresentação de sua produção, para o que se solicita a não interferência;
- Os componentes da Banca, encerrada a apresentação, disporão de até 25 (vinte e cinco) minutos para a arguição, para cada componente;
- Não será permitida nenhuma manifestação da parte da plenária, antes que seja declarada encerrada a sessão.

Declaramos aberta a sessão, oportunidade em que passamos a palavra ao concluinte para sua exposição, alertando-o para o tempo já anunciado.

APÓS ANÁLISE, CONSIDERA O(A) CONCLUINTE **Mateus Rodrigues da Silva**, COM CONCEITO/NOTA 7,7, () APROVADO (X) APROVADO COM RESSALVA () REPROVADO. CASO SEJA UMA DAS DUAS PRIMEIRAS OPÇÕES O CONCLUINTE FICA CONDICIONADO AO PLENO CUMPRIMENTO DAS PROPOSIÇÕES ANUNCIADAS PELA BANCA, NO PRAZO MÁXIMO DE 10 DIAS A CONTAR DESTA DATA, COMO TEMPO MÁXIMO PARA ENTREGA DA VERSÃO FINAL NA COORDENAÇÃO DO CURSO. O NÃO CUMPRIMENTO DAS PROPOSIÇÕES DA BANCA E DO PRAZO ACIMA ESTABELECIDO IMPLICARÁ EM REPROVAÇÃO.

Nada mais havendo a registrar encerro a presente sessão, da qual lavrou-se esta ATA que vai assinada por mim, pelos componentes desta Banca e pelo(a) Concluinte.

Picos, PI, 20 de Janeiro de 2021.

Rayner Gomes Sousa
Presidente/Orientador(a)

Ismael de Holanda Leal
Membro/Avaliador(a)

Juliana Oliveira de Carvalho
Membro/Avaliador(a)

Mateus Rodrigues da Silva
Concluinte

Resumo

A Virtualização de Rede é uma técnica que permite a implantação de novas funcionalidades e aplicações em uma infraestrutura de rede. Através da virtualização é possível criar várias redes virtuais de forma que essas redes possam coexistir simultaneamente sobre uma única infraestrutura física. Cada rede virtual é uma fatia de rede (*Network Slice* ou, simplesmente, *slice*) criada sob demanda e oferecida como serviço. Um dos grandes problemas na Virtualização de Rede é o Mapeamento de Redes Virtuais (*Virtual Network Embedding* - VNE). O problema VNE pertence a classe de problemas NP-Difíceis cujas soluções são desconhecidas em tempo polinomial. O trabalho aborda o uso do Algoritmo Genético para realizar o processo de mapeamento. Os testes realizados demonstraram a dinâmica do Algoritmo Genético no modo de resolver o problema de mapeamento de redes virtuais no substrato da rede.

Palavras-chaves: Virtualização de Rede. Fateamento de Rede. Mapeamento de Redes Virtuais. Algoritmo Genético.

Abstract

Network Virtualization is a technique that allows the deployment of new features and applications in a network infrastructure. Through virtualization it is possible to create several virtual networks so that these networks can coexist simultaneously on a single physical infrastructure. Each virtual network is a slice of a network created on demand and offered as a service. One of the biggest problems in Network Virtualization is the Virtual Network Mapping (VNE). The VNE problem belongs to the class of NP-hard problems whose solutions are unknown in polynomial time. The work addresses the use of the Genetic Algorithm to carry out the mapping process. The tests performed demonstrated the dynamics of the Genetic Algorithm in order to solve the problem of mapping virtual networks on the network substrate.

Keywords: Network Virtualization. Network Slicing. Virtual Network Embedding. Genetic Algorithm.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama da evolução da comunicação movel sem fio	15
Figura 2 – Diagrama da próxima geração de redes sem fio 5G	16
Figura 3 – Comunicação D2D	17
Figura 4 – Comunicação M2M	17
Figura 5 – Internet das Coisas	18
Figura 6 – Especificações da tecnologia 5G.	19
Figura 7 – Redes Virtuais	20
Figura 8 – Alocação de recursos na Internet	21
Figura 9 – Estrutura de fatias de rede 5G	22
Figura 10 – Duas redes virtuais mapeadas em uma rede de substrato.	23
Figura 11 – Formulação matemática do problema da VNE.	24
Figura 12 – Terminologia	28
Figura 13 – Componentes dos Algoritmos Genéticos.	29
Figura 14 – Cromossomo	30
Figura 15 – Crossover	32
Figura 16 – Operador de Mutação	33
Figura 17 – Cromossomo	35
Figura 18 – Função de Avaliação	36
Figura 19 – Topologia Barabasi	37
Figura 20 – Evolução dos Testes do Primeiro Grupo	40
Figura 21 – Evolução dos Testes do Segundo Grupo	40
Figura 22 – Evolução dos Testes do Terceiro Grupo	41
Figura 23 – Evolução dos Testes do Quarto Grupo	41
Figura 24 – Evolução dos Testes do Quinto Grupo	42
Figura 25 – Evolução dos Testes do Sexto Grupo	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Lista de Símbolos.	36
Tabela 2 – Primeiro Grupo de Teste	38
Tabela 3 – Segundo Grupo de Teste	38
Tabela 4 – Terceiro Grupo de Teste	38
Tabela 5 – Quarto Grupo de Teste	39
Tabela 6 – Quinto Grupo de Teste	39
Tabela 7 – Sexto Grupo de Teste	39

re

Lista de abreviaturas e siglas

VNR	<i>Virtual Network Requested</i>
VN	<i>Virtual Network</i>
VNE	<i>Virtual Network Embedding</i>
NS	<i>Network Slice</i>
VN	<i>Network Virtualization</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SN	<i>Network Substrate</i>
SDN	<i>Software Defined Networking</i>
NFV	<i>Network Functions Virtualization</i>
VNO	<i>Virtual Network Operator</i>
VNP	<i>Virtual Network Provider</i>
InPs	<i>Infrastructure Provider</i>
RAT	<i>Radio Access Technology</i>
AG	<i>Genetic Algorithm</i>

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivos Específicos	13
2	Referencial Teórico	15
2.1	Quinta Geração de Telefonia Móvel 5G	15
2.2	Redes Virtuais	19
2.3	Fatiamento de Redes	21
2.4	Mapeamento de Redes Virtuais	23
2.5	VNE Taxonomia	24
2.5.1	Abordagens Estáticas e Dinâmicas	24
2.5.2	Abordagens Centralizadas e Distribuídas	25
2.5.3	Abordagens Concisa e Redundante	25
2.5.4	Abordagens <i>Online</i> e <i>Offline</i>	25
3	Algoritmos Genéticos	27
3.1	Terminologia	28
3.2	Funcionamentos dos Algoritmos Genéticos	29
3.3	Representações Cromossômicas	29
3.3.1	Representação Binária	30
3.3.2	Representação por Inteiros	30
3.3.3	População Inicial	31
3.3.4	Função de Avaliação	31
3.3.5	Seleção de Pais	31
3.4	Operadores Genéticos	32
3.4.1	Operador de Crossover	32
3.4.2	Operador de Mutação	32
4	Mapeamento de Redes Virtuais Utilizando Algoritmos Genéticos	34
4.1	Cromossomo	34
4.2	Função de Avaliação	35
5	Infraestrutura de Execução, Simulações e Resultados	37
5.1	Infraestrutura de Simulação	37
5.2	Topologia da Rede	37
5.3	Execuções e Resultados	37

6	Análise dos Resultados	40
6.1	Análise	42
7	Conclusão	44
	Referências	45

1 Introdução

O crescimento da *Internet* é impulsionado por uma nova gama de aplicativos e dados portáteis que podem ser acessados a partir de qualquer lugar. Outro aspecto importante nesse crescimento é a consolidação da chamada *Internet das coisas* (*Internet of Things - IoT*), que busca conectar aparelhos eletrônicos do dia a dia à *Internet* e trazer mais dinâmica e integração ao cotidiano das pessoas (BOJANOVA; VOAS, 2017).

Atualmente, os aplicativos da IoT estão presentes em muitas áreas da atividade humana, como agricultura, saúde, eletrônica, transporte, casas inteligentes e cidades inteligentes, entre outras áreas. Essas áreas distintas ilustram as quão diversas e heterogêneas são essas aplicações. Além disso, paradigmas como o *Machine-to-Machine* (M2M), *Device-to-Device* (D2D) e *Ad-Hoc Vehicular* (VANET) são exemplos de novos paradigmas com diferentes demandas de rede. Para dar suporte a esses aplicativos é amplamente reconhecido que uma nova arquitetura seguindo o modelo "one-fit-all" (uma única para todos) não é viável. O problema da inflexibilidade da *Internet*, conhecido na literatura como o problema de "ossificação", enfrentado pela arquitetura atual da *Internet*, ensina que é extremamente difícil manter uma arquitetura de rede global e adaptada a diversas classes de aplicações (EJAZ et al., 2016).

O 5G (Quinta Geração de Telefonia Móvel), de forma a responder a demandas das novas aplicações, visa fornecer uma plataforma flexível para possibilitar novos casos de negócios (*business cases*) e integrar setores verticais (*vertical markets*) como o setor: automotivo; manufatura de larga escala; entretenimento; e a IoT. Assim, a *Network Slicing* surge como um modelo de serviço promissor para que uma infraestrutura de rede contemple os setores diferentes de negócios e indústrias (TALEB et al., 2017).

O fatiamento de rede (*Network Slicing*) pode ser dado como redes lógicas executadas em rede física ou virtual, mutuamente isoladas, dotadas de controle e gerenciamento independentes, que podem ser criados sob demanda e oferecida como serviço (ZANELA et al., 2019). A mesma utiliza o conceito conhecido como virtualização de rede (NV, em inglês *Network Virtualization*).

A virtualização de rede permite gerenciamento de rede flexível e dinâmico para atender o problema da "ossificação da rede", permitindo vários ambientes virtuais heterogêneos e específicos de serviço de redes para compartilhar uma única rede de substrato (LI et al., 2017) .

O fatiamento de rede usa uma classe de algoritmos comumente conhecida como VNE (*Virtual Network Embedding*) (FISCHER et al., 2013). O VNE consiste em determinar o mapeamento de Requisições de Redes Virtuais (VNR, em inglês *Virtual Network Requested*), compostas por roteadores e enlaces virtuais aninhados sobre roteadores e enlaces físicos que compõem a rede física ou Substrato de Rede (SN em inglês *Network Substrate*)(

(CHOWDHURY; BOUTABA, 2009); (FISCHER et al., 2013)). Uma VNR também está associada a um acordo de nível de serviço específico (SLA em inglês *Service Level Agreement*). Como o problema do VNE é de complexidade NP-difícil, uma vez que é um problema de combinação, encontrar uma abordagem ideal requer o uso de heurísticas que tendem a relaxar a questão original, concentrando-se em soluções quase ideais.

O problema de mapeamento de redes virtuais tem como objetivo mapear redes virtuais requisitadas por clientes em redes físicas fornecidas pelos provedores de infraestrutura. Cada requisição de rede virtual é composta por nós virtuais e enlaces virtuais, e um conjunto de características que devem ser satisfeitas para que a requisição possa ser atendida. A rede física é composta por nós físicos, enlaces físicos e um conjunto de características que definem o estado da rede em um determinado instante de tempo (ALKMIM et al., 2012).

A proposta desse trabalho consiste em realizar o mapeamento de redes virtuais no SN utilizando o Algoritmo Genético. Sendo que, o Algoritmo Genético é uma técnica de busca extremamente eficiente no seu objetivo de varrer o espaço de soluções e encontrar soluções próximas da solução ótima. Portanto, em comparação com trabalhos existentes na literatura, o presente considera cenários menos realistas, onde as VNRs são conhecidas a priori, modelo *offline*, utilizando abordagem estática, não sendo possível realocar as VNRs, e abordagem distribuída, onde o mapeamento é distribuído por todo o SN. Sendo necessário garantir um tempo de mapeamento viável.

O restante deste trabalho está organizado como segue. A Seção 2 apresenta o referencial teórico. A Seção 3 apresenta o algoritmo genético. Na Seção 4 apresenta o mapeamento utilizando o algoritmo genético. Na seção 5 apresentada a infraestrutura de *hardware* e *software* para execução e os testes realizados. Na Seção 6 os resultados e por fim na Seção 7 a conclusão.

1.1 Objetivos

Realizar o mapeamento de requisições de redes virtuais em um substrato de rede de forma dinâmica, objetivando maximizar o número de requisições atendidas e utilizando o Algoritmo Genético.

1.1.1 Objetivos Específicos

1. Minimizar o *stress* na sobregarda dos nós.
2. Minimizar o *stress* na sobregarda dos links/enlaces.
3. Maximizar o número de requisições atendidas.

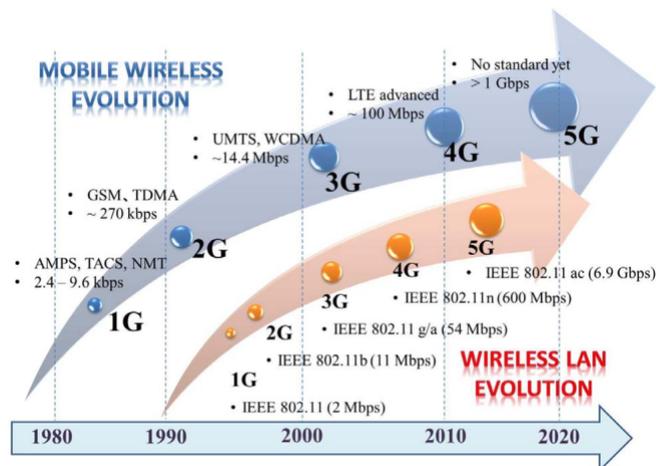
4. Solucionar o problema de mapeamento de redes virtuais (VNE) utilizando a heurística dos algoritmos genéticos, para isto adaptar uma heurística genérica a um problema específico.
5. Avaliar a solução e encontrar pontos de aperfeiçoamento para projetos futuros.

2 Referencial Teórico

2.1 Quinta Geração de Telefonia Móvel 5G

Nas últimas décadas, as redes de comunicação móvel sem fio experimentaram uma notável mudança. A geração móvel sem fio, geralmente se refere a uma mudança na natureza do sistema, velocidade, tecnologia, frequência, capacidade de dados, latência, e etc. Cada geração, 1G, 2G, 3G, 4G e 5G, possuem alguns padrões, diferentes capacidades, novas técnicas e novos recursos que o diferenciam da anterior (VORA, 2015). A Figura 1 ilustra a evolução da comunicação móvel sem fio. Em seguida será apresentado um resumo de cada geração, com suas características em termos de taxa de dados, mobilidade, cobertura e eficiência espectral.

Figura 1 – Diagrama da evolução da comunicação movel sem fio



Fonte:(AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016)

Segundo (VORA, 2015) os telefones da tecnologia 1G foram os primeiros celulares a serem utilizados, que foram introduzidos em 1982. Era usado para serviços de voz e baseava-se na tecnologia denominada *Advanced Mobile Phone System* (AMPS), com capacidade de transferência de dados de 2,4 a 9,6 quilobit por segundo (kbps).

A 2G refere-se à segunda geração baseada na tecnologia *Global System for Mobile Communications* (GSM) e surgiu na década de 90. Esta tecnologia usa sinais digitais para transmissão de voz. Com capacidade de transferência de dados em aproximadamente 270 kbps, adotava largura de banda de 30 a 200 KHz, semelhante ao 2G, o sistema 2.5G usa domínio de comutação de pacotes e circuitos e fornece taxa de dados de até 144 kbps (VORA, 2015).

A 3G é baseada no Sistema Universal de Telecomunicações Móveis (UMTS, em inglês *Universal Mobile Telecommunications System*) e foi lançado em 2000. A tecnologia original

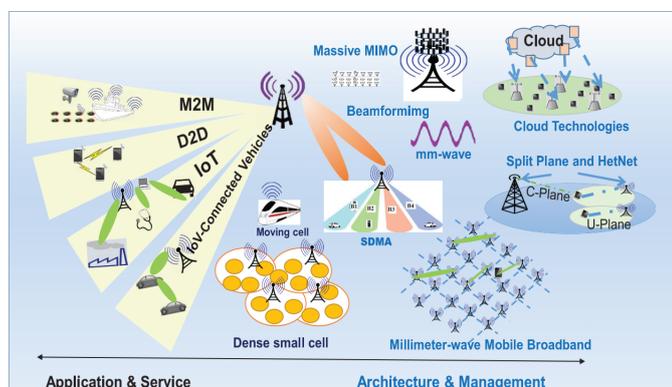
foi aprimorada para permitir dados de até 14 Mbps e usando a comutação de pacotes. Opera em uma faixa de 2.100 MHz e possui uma largura de banda de 15 a 20 MHz usada para serviço de *Internet* de alta velocidade (VORA, 2015).

Por sua vez, a 4G é baseada na evolução a longo prazo (LTE, em inglês *Long Term Evolution*), possui uma transferência de dados em aproximadamente 100 Mbps. A 4G foi desenvolvida para acomodar os requisitos de Qualidade de Serviços (QoS, em inglês *Quality of Service*), acesso de banda larga sem fio, Serviço de Mensagens Multimídia (MMS) e outros serviços que utilizam maior largura de banda (VORA, 2015).

E por último o 5G, com uma perspectiva de capacidade de transferência de dados acima de 1Gbps, que ainda é uma promessa, e que está sendo implementado aos poucos, pois não temos de fato o 5G implantado.

As futuras redes 5G pretendem satisfazer os diferentes requisitos de serviço de uma quantidade abundante de aplicações. Para isso, os provedores 5G planejam aumentar os recursos oferecidos aos usuários por meio de novas tecnologias de acesso de rádio e bandas no espectro, tais como MIMO (múltiplas entradas, múltiplas saídas) massivo e ondas milimétricas (REZENDE; MADEIRA, 2018). A Figura 2 ilustra as pretensões das redes 5G.

Figura 2 – Diagrama da próxima geração de redes sem fio 5G



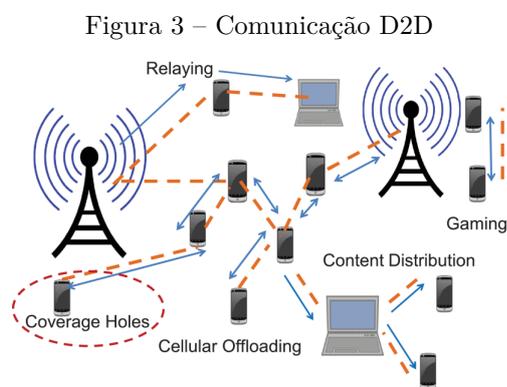
Fonte:(AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016).

A Figura 2 ilustra uma grande variedade de novas aplicações emergentes como: M2M, D2D, IoT e *IoV-Connected Vehicles* juntamente com novas arquiteturas é a principal força orientadora por trás da implantação comercial de sistemas sem fio 5G. A 5G deve fornecer soluções de rede para uma ampla gama de setores públicos e privados, como energia, agricultura, gestão da cidade, assistência médica, manufatura e transporte, com melhores serviços de software (ASSOCIATION et al., 2013). Além de um enorme número de conexões, as redes 5G também suportará uma grande variedade de dispositivos com diversos serviços associados.

Embora pesquisas desenvolvidas em algumas dessas aplicações já esteja em andamento no 4G sem fio, padrões originais 4G LTE, o 3GPP LTE Release 8.0, não inclui suporte a nenhuma das aplicações (3GPPLTE, 2014). Pelo contrario, essas aplicações foram geradas

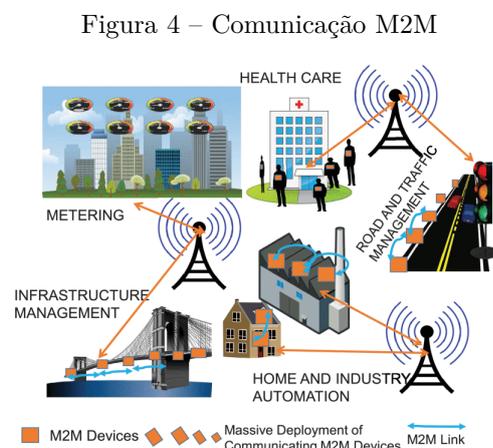
mais tarde, e começaram a aumentar explosivamente o uso de dados sem fio, impondo assim enormes encargos adicionais às redes sem fio 4G com recursos limitados. Naturalmente, versões posteriores de redes 4G LTE, denominadas “*LTE Advanced*” gradualmente começou a incluir essas aplicações (AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016). No entanto, espera-se que uma largura de banda massiva de ondas de comunicações 5G mm proporcionará um suporte de fato para essas aplicações emergentes.

A aplicação emergente dispositivo a dispositivo (D2D) para redes móveis 5G ilustrada na Figura 3, permite que o equipamento do usuário se comunique diretamente com outros dispositivos sem ou com envolvimento parcial da infraestrutura de rede, como pontos de acesso móveis ou estações base móveis (BISWASH et al., 2017).



Fonte: (AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016).

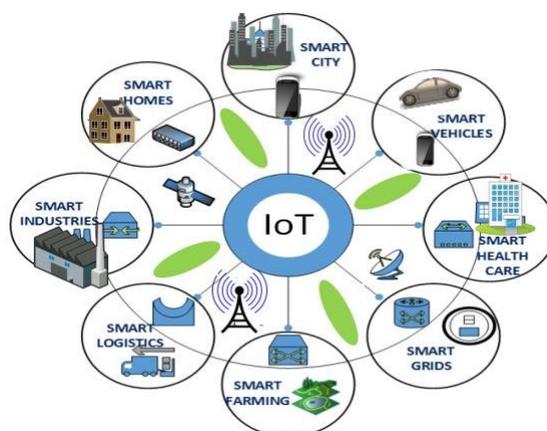
Já a aplicação Machine-to-machine (M2M) para redes móveis 5G ilustrada na Figura 4 é uma tecnologia que permite que dispositivos em rede troquem informações e executem ações sem a necessidade de trabalho humano, facilitando a comunicação entre os sistemas, permitindo que eles façam suas próprias escolhas de modo autônomo (BOOYSEN et al., 2012).



Fonte:(AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016).

Na Internet das coisas (IdC), em inglês *Internet of Things* ilustrada na Figura 5 a previsão é que ocorra milhões de conexões envolvendo diversos dispositivos, residências

Figura 5 – Internet das Coisas



Fonte:([AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016](#)).

conectadas, redes inteligentes, sistemas de transporte inteligentes, industriais inteligentes, hospitais inteligentes, etc. Para ([ZUIN; ZUIN, 2016](#)), é um tipo de interface de comunicação entre humanos, máquinas e objetos que inovou no modo de produzir, de reproduzir e de usar o conhecimento.

De acordo com ([KIM, 2019](#)) nas últimas décadas, a crescente popularidade de dispositivos móveis inteligentes juntamente com o uso em massa de aplicativos multimídias deu origem a um crescimento substancial nos serviços de tráfego sem fio. Em comparação com as redes 4G, uma das principais diferenças nas futuras redes 5G é fornecer conectividade perfeita para qualquer tipo de dispositivos e aplicações que possam se beneficiar da conexão no ambiente do usuário.

As comunicações 5G vislumbram um aumento nas taxas de transferência de dados sem fio, largura de banda, cobertura e conectividade, com uma redução maciça na latência de ida e volta e no consumo de energia ([INTELLIGENCE, 2014a](#)). A GSMA destaca oito requisitos que serão as principais características das futuras redes 5G ilustrada na Figura 6:

- a) Taxas de dados de 1 a 10 Gbps em redes reais.
- b) Latência de ida e volta de 1 ms.
- c) Largura de banda alta na área da unidade.
- d) Enorme número de dispositivos conectados.
- e) Disponibilidade percebida de 99,999%.
- f) Quase 100% de cobertura para conectividade a qualquer hora e em qualquer lugar.
- g) Redução no uso de energia em quase 90%.
- h) Vida útil da bateria.

Figura 6 – Especificações da tecnologia 5G.



Fonte: (INTELLIGENCE, 2014b).

No entanto, o aspecto mais desafiador é que as redes 5G suportem uma ampla variedade de dispositivos conectados quando estamos entrando na era da Internet Tudo (IoE). Algumas aplicações como IoT de missão crítica e veículos autônomos exigem latência ultra baixa, serviços ultra confiáveis (LI et al., 2017).

As redes tradicionais de comunicação móvel empregam o modelo “*one-size-fits-all*” (um tamanho serve para todos) para fornecer serviços para dispositivos móveis, independentemente dos requisitos de comunicação de serviços verticais, sendo que esse modelo não é mais viável, levando em consideração as aplicações emergentes. Portanto, é necessário explorar novas técnicas para enfrentar os desafios associado ao suporte de indústrias verticais em redes 5G (LI et al., 2017).

Rede Definida por Software (SDN, em inglês *Software Defined Networking*) e a Virtualização de Funções de Rede (NFV, em inglês *Network Functions Virtualization*) foram propostas como principais tecnologias para criar “*softwarização*”, virtualizando os sistemas 5G em nuvem. Segundo (MCKEOWN et al., 2008) a SDN dissocia o controle da rede e o encaminhamento de dados. As funções de controle da rede podem ser executadas como aplicativos independentemente nos controladores logicamente centralizados. Sendo que, a NFV separa funções específicas da rede de plataformas de hardware dedicadas e caras para hardware de uso geral (PORTAL, 2012).

2.2 Redes Virtuais

A virtualização de Rede é uma das tecnologias mais promissoras para a futura *Internet* (CHOWDHURY; BOUTABA, 2009). Segundo (ANDERSON et al., 2005), a virtualização de rede foi introduzida como forma de avaliar novos protocolos e serviços, sendo vista como uma ferramenta para superar a resistência da atual *Internet* às mudanças fundamentais.

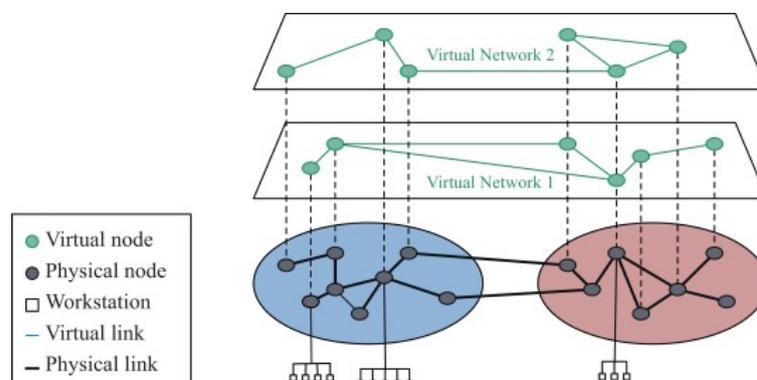
A virtualização de rede permite gerenciamento de rede flexível e dinâmico para atender

o problema da “ossificação da rede” (não permitem grandes modificações no núcleo da rede), permitindo vários ambientes virtuais heterogêneos e específicos de serviço de redes para compartilhar o mesmo substrato de rede (LI et al., 2017).

Na virtualização de rede, a entidade principal é a Rede Virtual (em inglês *Virtual Network* - VN). Uma VN é uma combinação de elementos ativos e passivos de rede (nós e enlaces de rede) na parte superior de um substrato de rede (SN). Nós virtuais estão interconectados através de enlaces virtuais, formando uma topologia virtual. Ao virtualizar recursos de nós e enlaces de um SN, múltiplas topologias de redes virtuais com variadas características podem ser criadas e co-hospedadas no mesmo hardware físico (FISCHER et al., 2013).

A virtualização de rede permite que várias redes virtuais diferentes operem em uma única infraestrutura física. Apesar de sua ampla aplicabilidade, ainda existem muitos desafios para permitir a virtualização de rede em infraestruturas de larga escala. Um grande desafio está relacionado ao problema conhecido como Incorporação de Rede Virtual (VNE, em inglês *Virtual Network Embedding*) (FISCHER et al., 2013). Um dos objetivos do VNE é minimizar a quantidade de recursos inativos em uma infraestrutura física, tentando alocar mais redes virtuais nela. Em um ambiente de rede virtualizado, roteadores e links físicos são compartilhados por várias redes virtuais, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Redes Virtuais

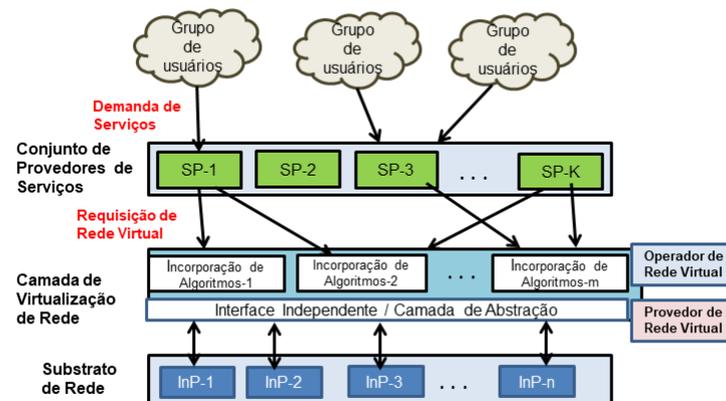


Fonte: (CAMILO; COUTO; COSTA, 2018).

A Figura 8 ilustra como a virtualização da rede faz uso da incorporação de algoritmos para alocar recursos virtuais em um ambiente físico. O operador de rede virtual (VNO, em inglês *Virtual Network Operator*) utiliza a incorporação de algoritmos para decidir a que recursos virtuais solicitar ao provedor de rede virtual (VNP, em inglês *Virtual Network Provider*), que, por sua vez, instancia os provedores de infraestrutura (InPs, em inglês *Infrastructure Provider*) usando os recursos de substrato (FISCHER et al., 2013).

Dentre as diversas questões em virtualização de redes, uma das mais importantes é a busca por mapeamentos eficientes de redes virtuais nos substratos da rede física (CHOWDHURY; BOUTABA, 2009). O mapeamento consiste em determinar uma alo-

Figura 8 – Alocação de recursos na Internet



Fonte: (FISCHER et al., 2013).

cação de roteadores e enlaces de redes virtuais nos roteadores e enlaces do substrato (ALKMIM et al., 2012).

2.3 Fatiamento de Redes

Com o crescimento do uso de dispositivos inteligentes e aplicativos de alta largura de banda, houve um grande aumento no tráfego de dados nos últimos tempos, motivando o desenvolvimento de novas arquiteturas de rede que permitem maior flexibilidade e restringem o aumento de capital e despesas operacionais. O Fatiamento de Rede como Serviço (NSaaS), é uma nova abordagem voltada para os negócios digitais que está redefinindo como as organizações criam, consomem e adaptam os recursos de conectividade e rede (ALLIANCE, 2017). O ambiente NSaaS fornece a abstração da Rede Virtual como um serviço, para que essa abstração da VN possa ser instanciada, operada, clonada, movida e redirecionada conforme desejado pelo usuário no estilo de computação em nuvem (QADIR et al., 2016).

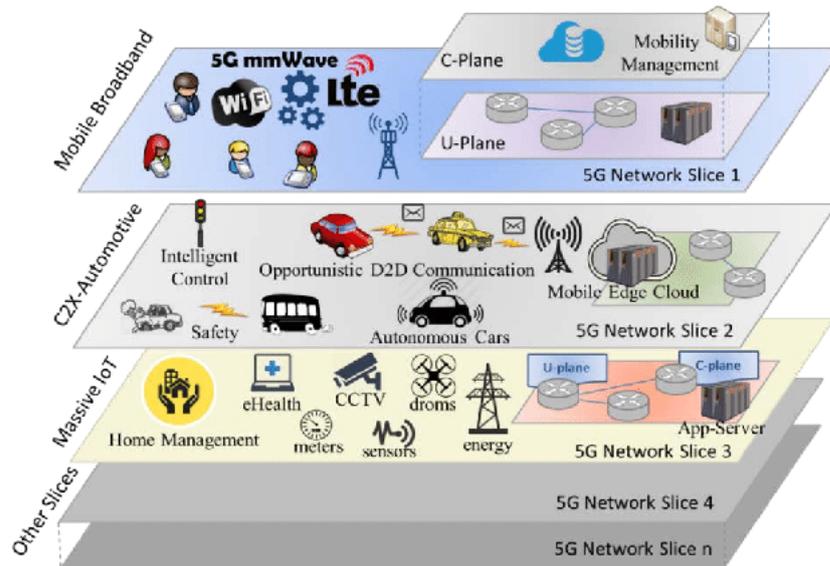
Portanto, conforme relatam (ZANELA et al., 2019):

é necessária a introdução do fatiamento de rede baseado em demandas, que permitirá que cada fatia de rede, denominado como slice, seja alocada conforme a demanda e requisitos do locatário em função de suas aplicações. O ponto central da implantação do fatiamento é dependente da orquestração de atividades que possibilitem a instalação, preparação do ambiente sucedida de suas configurações e instalação dos serviços requeridos. A conjunção destas tarefas visa, por fim, a elaboração de um aparato de gerenciamento de fatias de redes virtualizadas, as quais adotam anglicismo Virtualized Infrastructure Manager (VIM).

O fatiamento de rede (*Network Slicing*) refere-se ao particionamento de uma rede física em várias redes virtuais, cada rede virtual é arquitetada e otimizada para um aplicativo

/ serviço específico. Portanto, uma fatia de rede é uma rede virtual criada sobre uma rede física de uma maneira que dê a ilusão ao usuário que cada fatia esteja operando sua própria rede física dedicada (LI et al., 2017).

Figura 9 – Estrutura de fatias de rede 5G



Fonte:(BARAKABITZE et al., 2020).

A Figura 9 ilustra um exemplo de diferentes fatias de rede operando na mesma infraestrutura: slice 1: uma fatia de rede que acomoda serviços de banda larga móvel, slice 2: uma fatia de rede automotiva em que latência e confiabilidade são parâmetros críticos e slice 3: uma massiva fatia de rede IoT em que a escalabilidade é essencial para lidar com grandes quantidades de dados com eficiência.

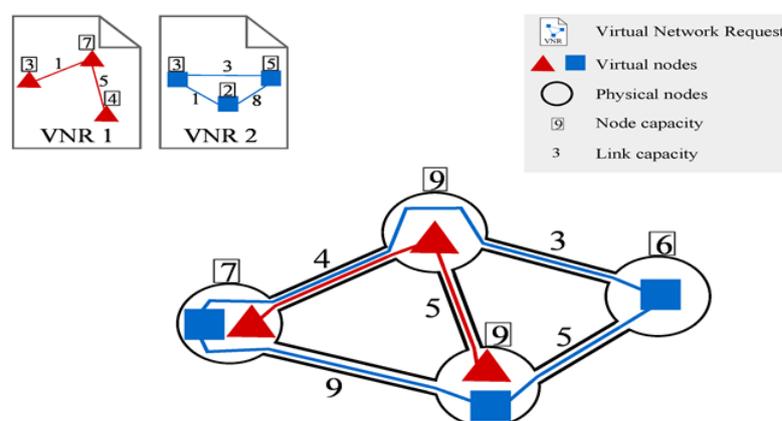
Para acomodar objetivos estritos de latência e escalabilidade, as funções de rede podem ser instanciadas conforme necessário, otimizando as redes de rádio e o núcleo em relação a serviços específicos. Diferentes Tecnologias de Acesso a Rádio (RAT, em inglês *Radio Access Technology*) devem ser associados a tipos distintos de fatias de rede, pois podem atender melhor aos requisitos de serviços específicos (SAM DANIS; COSTA-PEREZ; SCIANCALEPORE, 2016).

Portanto o fatiamento de rede compreende a recursos de redes isolados, por exemplo, em termos de capacidade de processamento, armazenamento e largura de banda, com significantes vantagens comparadas às redes tradicionais: (a): a divisão de rede pode fornecer redes lógicas com melhor desempenho do que as redes de tamanho único. (b): uma fatia de rede pode aumentar ou diminuir conforme os requisitos de serviço e o número de usuários. (c): as fatias de rede podem isolar os recursos de rede de um serviço dos outros. As configurações entre várias fatias não se afetam. Portanto, a confiabilidade e a segurança de cada fatia podem ser aprimoradas. (d): por fim, uma fatia de rede é personalizada de acordo com requisitos de serviço, que podem otimizar a alocação e uso de recursos físicos de rede (LI et al., 2017).

2.4 Mapeamento de Redes Virtuais

O mapeamento de redes virtuais em um substrato físico consiste, basicamente, em determinar um mapeamento ótimo, ou quase ótimo, dos recursos virtuais em substratos de rede sob demanda (ALKMIM et al., 2012). O problema de mapeamento é comumente conhecido como problema de Incorporação de Rede Virtual (VNE). Isso geralmente é modelado pela anotação de uma requisição de rede virtual (VNR) com demandas de nós e enlaces. Da mesma forma, o substrato de rede (SN) é anotado com recursos de nós e enlaces representados na Figura 10 (FISCHER et al., 2013).

Figura 10 – Duas redes virtuais mapeadas em uma rede de substrato.



Fonte: (FISCHER et al., 2013).

VNE é uma área essencial na virtualização de rede, e o objetivo geral do VNE é mapear redes virtuais em uma rede física subjacente denominada substrato. Normalmente, as redes virtuais têm certas demandas, como requisitos de recursos, que precisam ser satisfeitas pelo processo de mapeamento. Uma rede virtual (VN) pode ser descrita em termos de nós e enlaces com determinados requisitos de recursos e, para incorporar uma VN, os recursos de substrato são atribuídos a esses nós e enlaces. As redes de substrato possuem recursos finitos e sua utilização eficiente é um objetivo importante para um método de VNE (RAZZAQ; HIDEELL; SJÖDIN, 2012).

Formalmente, o problema da VNE pode ser descrito da seguinte forma, descrito na Figura 11 .

Resolver o problema da VNE é difícil, pois está relacionado para o problema do separador multidirecional (ANDERSEN, 2002). Mesmo com um determinado mapeamento de nós virtuais, o problema da alocação otimizada de um conjunto de links virtuais para caminhos de substrato único reduz para o problema de fluxo instável (KLEINBERG, 1996), e, portanto também é NP-hard. Portanto, soluções verdadeiramente ótimas só podem ser obtidas para pequenos problemas. Assim, atualmente o foco principal de trabalho dentro da comunidade de pesquisa é sobre heurística ou meta-heurística.

Figura 11 – Formulação matemática do problema da VNE.

Termo	Descrição
$SN = (N, L)$	SN é um substrato de rede, construída pelos nós N e pelas ligações L.
$VNRi = (Ni, Li)$	VNRi denota o pedido de rede virtual, construído pelos nós Ni e enlaces Li.
M $R = \pi R_j$ $j=1$	R contem vetores de cursos para os recursos R1, ... Rm.
$cap: N \cup L \rightarrow R$	A função cap. Atribui uma capacidade a um elemento da rede de substrato (nó ou enlace).
$demi: Ni \cup Li \rightarrow R$	A função demi. Atribui uma demanda a um elemento de VNRi (seja um nó ou um enlace).
$Fi: Ni \rightarrow N$	Fi é uma função que mapeia um nó virtual de VNRi para um nó de substrato (VNoM).
$Gi: Li \rightarrow SN' \subseteq SN$	Gi é a função que mapeia um enlace virtual de VNRi para um caminho no substrato de rede (VLiM).

Fonte:([FISCHER et al., 2013](#)).

2.5 VNE Taxonomia

Segundo a taxonomia proposta por Fischer et al. (2013) as abordagens para o VNE podem ser classificadas quanto: (i) estáticas ou dinâmicas, (ii) centralizadas ou distribuídas, (iii) concisos ou redundantes, (iv) *online* ou *offline*,

2.5.1 Abordagens Estáticas e Dinâmicas

As abordagens VNE estáticas não contempla a possibilidade de remapear VNRs para melhorar o desempenho da incorporação no SN, ou seja, possuem infraestruturas imutáveis. Já as abordagens dinâmicas da VNE tentam reconfigurar o mapeamento das VNRs para reorganizar a alocação de recursos e otimizar a utilização de recursos SN ([FISCHER et al., 2013](#)).

Segundo ([ERAMO; MIUCCI; AMMAR, 2016](#)), em uma abordagem dinâmica, é permitida a alteração do mapeamento de uma VN sobre o SN, sendo também chamada de reconfiguração. Essa reconfiguração traz vantagens em termos de melhorias na taxa de aceitação, fragmentação do SN e no lucro. No entanto, deve-se atentar para o fato que em ambientes reais a ação de suspender os mapeamentos, remover as conexões ativas e reconfigurá-las é muito custosa, e pode causar problemas na qualidade do serviço prestado. Nesse presente trabalho é adota a linha estática, onde reconfigurações não são permitidas, similar a ([ARAÚJO; GUIDONI; SOUZA, 2015; NGUYEN et al., 2017](#)).

2.5.2 Abordagens Centralizadas e Distribuídas

Abordagens centralizadas possuem uma visão total do SN, permitindo uma otimização global do mapeamento, como adotado em (ALKMIM et al., 2012), (ARAÚJO; GUIDONI; SOUZA, 2015), (NGUYEN et al., 2017). Apesar de muito difundido, tal modelo tende a ser não aplicável na prática. Em ambientes reais, centralizar todas as ações sobre uma única entidade pode afetar a escalabilidade, segurança e acarretar em uma fila de requisições à espera de atendimento. Em compensação, a qualidade dos mapeamentos centralizados tende a ser superior em relação a mapeamentos descentralizados.

Já na distribuída, uma VNR distribuída utiliza múltiplas entidades para a computação dos encaixes. Podendo haver alguma organização interna em como o mapeamento é distribuído entre as entidades participantes, ou pode ser organizada completamente ad-hoc. A vantagem é sua escalabilidade, uma vez que a carga é distribuída entre vários nós. A desvantagem é que uma pessoa tem que pagar por isso, uma sobretaxa de custo de sincronização (FISCHER et al., 2013).

2.5.3 Abordagens Concisa e Redundante

Abordagens taxadas como redundantes, trabalham o mapeamento provendo características de resiliência a falhas. Em (OLIVEIRA et al., 2015) é apresentado uma heurística de mapeamento com duas estratégias chamadas de proativa e reativa. O mapeamento proativo é feito com a metaheurística *simulated annealing*, onde cada enlace virtual é mapeado em mais de um enlace físico. A estratégia reativa atua em caso de ataques e quedas de recursos, fazendo a migração dos mapeamentos originais para os componentes redundantes através de uma estratégia de fluxo máximo.

Tratar aspectos de resiliência é características importantes no provimento de conexões a *Internet*, mas, em contrapartida, o ato de se aprovisionar uma camada extra de recursos para eventuais falhas deixa muitos recursos ociosos, o que pode afetar a taxa de aceitação, lucro e consumo de energia.

Grande parte de trabalhos existentes na literatura abordam o VNE de maneira concisa. (LIU et al., 2016) apresentam um algoritmo heurístico, conciso, não coordenado e inspirado em inteligência coletiva chamado de VNE-ABC (*Virtual Network Embedding with artificial bee colony*).

2.5.4 Abordagens *Online* e *Offline*

No cenário *online*, as características de uma VN não são conhecidas antes de sua chegada ao provedor, melhor caracterizando um ambiente real (CHOWDHURY; BOUTABA, 2009), (ARAÚJO; GUIDONI; SOUZA, 2015; NGUYEN et al., 2017). No cenário *offline*, o conjunto de VNs é conhecido por completo a priori. (ALKMIM et al., 2012) abordam

o VNE *offline* através de Programação Inteira Binária, onde é aplicada uma abordagem exata e outra relaxada.

Neste trabalho são utilizadas as abordagens estáticas, centralizadas e *offline*, sendo que as Requisições de Redes Virtuais (VNRs) são conhecidas antes do processo de incorporação. Portanto esse modelo de mapeamento tendem a alcançar bons resultados em termo de otimização.

3 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos (AGs) foram introduzidos em meados de 1976 por John Holland e seus colaboradores da Universidade de Michigan, mas seu pleno desenvolvimento, só ocorreu a partir da década de 80, através do trabalho de Goldberg em 1989.

Eles baseiam-se inicialmente na geração de uma população formada por um conjunto aleatório de indivíduos que podem ser vistos como possíveis soluções para o problema. Durante o processo evolutivo, esta população é avaliada: para cada indivíduo é dado um índice, refletindo sua habilidade de adaptação a um determinado ambiente. Uma porcentagem dos mais adaptados é mantida, enquanto os outros são descartados. Os membros selecionados sofrem alterações em suas características fundamentais através de cruzamentos genéticos e mutações, gerando descendentes para a próxima geração. Este processo, chamado de reprodução, é repetido até que um conjunto de soluções satisfatórias seja encontrado (GOLDBERG, 1989) e (BEASLEY; BULL; MARTIN, 1993).

Cabe salientar que os algoritmos genéticos são técnicas heurísticas de otimização global. A questão otimização global opõe os AGs aos métodos como gradiente (*hill climbing*), que seguem a derivada de uma função de forma a encontrar o máximo de uma função ficando facilmente retidos em máximos locais. Já nos AGs populações de indivíduos são criadas e submetidas aos operadores genéticos: seleção, recombinação (crossover) e mutação para encontrar as melhores soluções para o problema (LINDEN, 2008).

Os algoritmos genéticos também podem ser entendidos como técnicas de busca baseadas na Teoria da Evolução, nos quais as variáveis são representadas como genes em um cromossomo (indivíduo). Combinam a sobrevivência dos mais aptos com a troca de informação de uma forma estruturada, mas aleatória (LINDEN, 2008). A seleção natural garante que os cromossomos mais aptos gerem descendentes para as próximas gerações usando um operador de cruzamento, eles combinam genes de dois cromossomos pais previamente selecionados para formar dois novos cromossomos filhos, os quais têm uma grande possibilidade de serem mais aptos que os seus pais.

Em um sentido mais detalhado, o AG representa um modelo de base populacional, que emprega operadores de seleção e recombinação para gerar novos pontos de dados em um espaço de pesquisa. Existem vários modelos conhecidos na literatura, sendo que a maioria deles são projetados como ferramentas de otimização para diversas aplicações (BENTO; KAGAN, 2008). Segundo (LINDEN, 2008), os AGs são técnicas de busca com as seguintes características positivas:

- Paralela: pois mantém uma população de soluções que são avaliadas simultaneamente.
- Global: não usam apenas informação local, logo, não necessariamente ficam

presos em máximos locais como certos métodos de buscas. Essa característica é uma das mais interessantes dos algoritmos genéticos e faz com que eles sejam uma técnica extremamente adequada para funções multimodais e de perfis complexos.

- Não totalmente aleatório: possuem componentes aleatórios, mas como usam a informação da população corrente para determinar o próximo estado da busca, não podem ser considerados totalmente aleatórios.
- Não afetada por descontinuidades na função ou em suas derivadas: não usam informações de derivadas na sua evolução nem necessitam de informações sobre o seu entorno para poder efetuar sua busca.
- Capaz de lidar com funções discretas e contínuas: são capazes de lidar com funções reais, discretas, booleanas e até mesmo categóricas.
- aceitam sem grandes dificuldades uma infinidade de alterações na sua implementação

3.1 Terminologia

Segundo (LINDEN, 2008), como os AGs são altamente inspirados na genética e na teoria da evolução das espécies, há uma analogia muito forte entre os termos da biologia e os termos usados no campo dos AGs. Nos sistemas naturais um ou mais cromossomos se combinam pra formar as características genéticas básicas do indivíduo em questão. Na área dos AGs, os termos cromossomos e indivíduo são intercambiáveis. A analogia entre os sistemas natural e artificial é descrito na Figura 12 .

Figura 12 – Terminologia

Linguagem Natural	Algoritmos Genéticos
Cromossomo	Indivíduo, string, palavra binária, etc.
Gene	Característica
Alelo	Valor do caractere
Locus	Posição na string
Genótipo	Estrutura
Fenótipo	Estrutura submetida ao problema
Indivíduo	Solução
Geração	Ciclo

Fonte: (LINDEN, 2008).

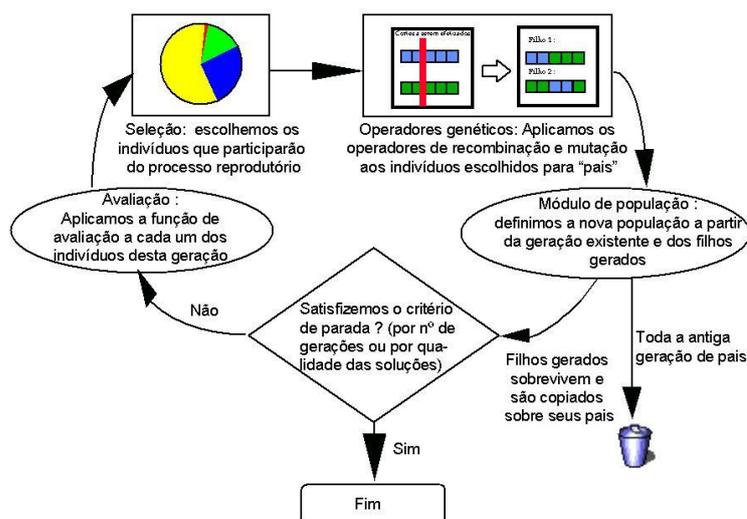
3.2 Funcionamentos dos Algoritmos Genéticos

A ideia principal de funcionamento dos algoritmos genéticos é a de tratar as possíveis soluções do problema como indivíduos de uma população, que irá evoluir a cada geração (LINDEN, 2008). A execução do algoritmo pode ser resumida nos seguintes passos:

1. Criar população inicial de cromossomos;
2. Aplicar o cálculo de aptidão onde avalia cada cromossomo da população;
3. Aplicar o método seleção de pais para gerar novos cromossomos;
4. Aplica os operadores de cruzamento e mutação;
5. Descarta os velhos membros;
6. Esses passos são repetidos até encontrar a melhor solução ou satisfaça o critério de parada.

A Figura 13 mostrará os principais componentes dos Algoritmos Genéticos.

Figura 13 – Componentes dos Algoritmos Genéticos.



Fonte:(LINDEN, 2008).

Geralmente, a implementação de um AG começa com a definição aleatória de uma população cromossômica. As estruturas são avaliadas e, em seguida, melhores oportunidades reprodutivas são alocadas para esses cromossomos, levando a melhores soluções. A adequação de uma solução está normalmente relacionada à média da população atual ou à população mediana (MEYER-BAESE; SCHMID, 2014).

3.3 Representações Cromossômicas

Existem várias formas de representação possíveis para os cromossomos, como por exemplo, inteira e real. A essa representação se dá o nome de alfabeto do algoritmo

genético. De acordo com a classe de problemas que se deseja resolver pode-se usar qualquer uma destas formas.

Ela consiste em uma forma de traduzir a informação do problema em uma maneira viável de ser tratada pelo computador. Quanto mais ela for adequada ao problema, maior a qualidade dos resultados obtidos (LINDEN, 2008).

Para (LINDEN, 2008), na representação cromossomial algumas regras devem ser seguidas:

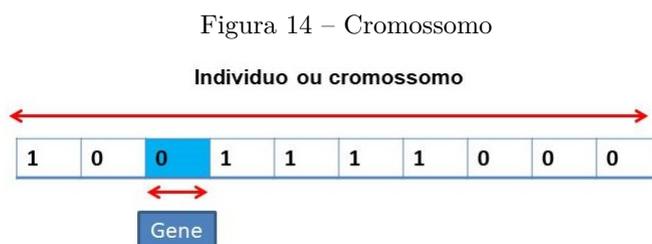
- A representação deve ser mais simples possível
- Se houver soluções proibidas ao problema, então elas não devem ter uma representação
- Se o problema impuser condições de algum tipo, estas devem estar implícitas dentro da nossa representação.

3.3.1 Representação Binária

Na representação binária os indivíduos são codificados por uma sequência de dígitos binários (0 e 1). A sua utilização está vinculada a algoritmos de codificação e decodificação, que permitem converter a solução para a sequência binária que a representa.

Essa representação foi adotada inicialmente por Holland em 1975, e hoje em dia é muito empregada na área de algoritmos genéticos. Um cromossomo é formado por uma sequência de bits (cada gene é um bit, formando uma *string*).

A Figura 14 ilustra a representação cromossomial através de números binários.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A representação binária é suficientemente geral para ser aplicada em qualquer problema, mas nem sempre é a representação mais natural ou mais adequada para o problema. Pode ser o caso de problemas baseados em parâmetros numéricos, ou na ordem. A natureza específica do problema pode sugerir uma representação mais apropriada, com operadores de cruzamento e mutação próprios (MALAQUIAS et al., 2006).

3.3.2 Representação por Inteiros

A representação por inteiros pode ser associada à solução de problemas de otimização combinatória, caracterizados pela busca de uma solução dentre um conjunto finito de

soluções. Para estes problemas a melhor representação de um indivíduo é um vetor de inteiros, onde os inteiros representam uma ordenação de nós (MALAQUIAS et al., 2006).

3.3.3 População Inicial

A parte do espaço de busca a ser examinado pelo algoritmo genético é chamada de população. Cada um dos indivíduos da população representa uma possível solução para o problema, isto é, um ponto no espaço de soluções (MALAQUIAS et al., 2006). A inicialização da população deve ser feita da forma mais simples possível, fazendo uma escolha aleatória para cada indivíduo da população inicial, sendo que essa escolha de forma aleatória gera uma boa distribuição das soluções no espaço de busca (LINDEN, 2008).

Depois de gerada a população inicial, seus indivíduos são avaliados pela função de aptidão, com o objetivo de medir sua qualidade.

3.3.4 Função de Avaliação

É a maneira como os algoritmos genéticos determina a qualidade de um indivíduo como possível solução do problema.

Dada à generalidade dos algoritmos genéticos, a função de avaliação, em muitos casos, é a única ligação verdadeira do programa com o problema real. A função de avaliação só julga a qualidade da solução que está sendo apresentada por aquele indivíduo, sem armazenar qualquer tipo de informação sobre as técnicas de resolução do problema (LINDEN, 2008).

A função de avaliação ou função de custo calcula então o valor numérico que reflete o quão bom os parâmetros representados no cromossomo resolvem o problema. Ela usa todos os valores armazenados no cromossomo e retorna um valor numérico, cujo significado é uma métrica da qualidade da solução obtida usando-se aqueles parâmetros (LINDEN, 2008).

3.3.5 Seleção de Pais

O método de seleção de pais deve simular o mecanismo de seleção natural que atua sobre as espécies biológicas, em que os pais mais capazes geram mais filhos, ao mesmo tempo em que pais menos aptos também podem gerar descendentes. Sendo que os pais com melhor aptidão tem que ser privilegiados na seleção, não desprezando os com aptidão baixa, pois eles podem possuir características boas para a resolução do problema.

O método utilizado para fazer essa seleção é o método da roleta viciada, que pode ser entendido da seguinte maneira: cada cromossomo recebe um pedaço proporcional a sua avaliação, depois roda a roleta e o selecionado será o indivíduo sobre o qual ela parar. Conseqüentemente, os cromossomos com o índice de avaliação grande, terão maior probabilidade de serem selecionados inúmeras vezes (LINDEN, 2008).

3.4 Operadores Genéticos

São responsáveis por transformar a população inicial através de sucessivas gerações, estendendo a busca até chegar a um resultado que satisfaça o problema. Os operadores genéticos são necessários para que a população se diversifique e mantenha características de adaptação adquiridas pelas gerações anteriores (MALAQUIAS et al., 2006).

3.4.1 Operador de Crossover

É um operador baseado na troca de partes dos cromossomos pais, que são selecionados de forma aleatórios, para gerar novos cromossomos filhos (possíveis soluções). Este processo pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Crossover



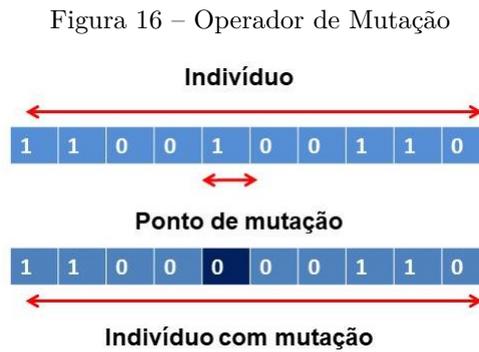
Fonte: Elaborada pelo autor.

O ponto onde ocorre o corte para a realização do cruzamento é escolhido de forma aleatoriamente, na Figura 15 foi utilizado um único ponto de corte, mas podem ser realizados cortes em mais de um ponto, caracterizando o multi-point crossover (GOLDBERG, 1989). O primeiro filho é composto por parte do cromossomo da esquerda do primeiro pai com a parte da direita do segundo pai. O segundo filho é composto pela parte da esquerda do segundo pai, com a parte da direita do primeiro pai. Eles farão parte da nova população (conjunto de indivíduos).

3.4.2 Operador de Mutação

É a troca aleatória do valor contido nos genes de um cromossomo, no caso do alfabeto binário troca-se o 0 por 1, e vice-versa. O operador de mutação utiliza probabilidade de mutação extremamente baixa (da ordem de 0,5) sorteando um número entre 0 e 1. Se ele for menor que a probabilidade predeterminada então o operador atua sobre o gene em questão, trocando seu valor de forma aleatória (LINDEN, 2008). Na Figura 16 será apresentado o modelo de mutação.

Para todo indivíduo recentemente criado na população resultante, existe uma probabilidade próxima de zero de o indivíduo sofrer uma mutação, isto é, ele irá mudar suas características hereditárias de forma aleatória (MALAQUIAS et al., 2006). Portanto, a



Fonte: Elaborada pelo autor.

mutação garante a diversidade das características dos indivíduos da população e permite que sejam introduzidas informações que não estiveram presentes em nenhum dos indivíduos.

Sendo assim, como mencionado anteriormente, no AG populações de indivíduos são criadas e submetidas aos operadores genéticos: seleção, crossover e mutação. Estes operadores utilizam uma característica de qualidade de cada indivíduo como solução do problema em questão, chamado de avaliação, e vão gerar um processo de evolução natural destes indivíduos, que eventualmente deverá gerar um indivíduo que caracterizará uma boa solução para o problema. Nesse caso, o problema de mapeamento de redes virtuais.

4 Mapeamento de Redes Virtuais Utilizando Algoritmos Genéticos

Neste trabalho, é proposto o Algoritmo Genético (Capítulo 3) para resolver o problema de mapeamento de redes virtuais no substrato da rede (Capítulo 2). Sendo que, o Algoritmo Genético é uma técnica de busca extremamente eficiente no seu objetivo de varrer o espaço de soluções e encontrar soluções próximas da solução ótima (LINDEN, 2008). Portanto, são adequados para problemas denominados NP-difíceis.

Um exemplo clássico na literatura é sua utilização na resolução do Problema do Caixeiro Viajante (PCV). O problema consiste em encontrar o caminho que demanda menor custo em que um caixeiro viajante que deseja visitar apenas uma vez uma lista de n cidades (sendo o custo de transitar da cidade i para a j c_{ij}) e, então, retornar à cidade inicial. O PCV é classificado como um problema *NP-Hard*, isto é, não são possíveis de se resolver através de um algoritmo polinomial (GAREY; JOHNSON, 1979).

A seguir é apresentada uma abordagem do uso do AG para realizar o mapeamento. Como descrita na Subseção 3.1, nos sistemas naturais um ou mais cromossomos se combinam para formar as características genéticas básicas do indivíduo. E na área dos AGs, um indivíduo é representado por meio de um cromossomo, cuja sua estrutura representa uma possível forma de mapeamento, e uma função de avaliação descrita na Subseção 3.3.4, que irá avaliar a qualidade de cada indivíduo como solução para o problema.

4.1 Cromossomo

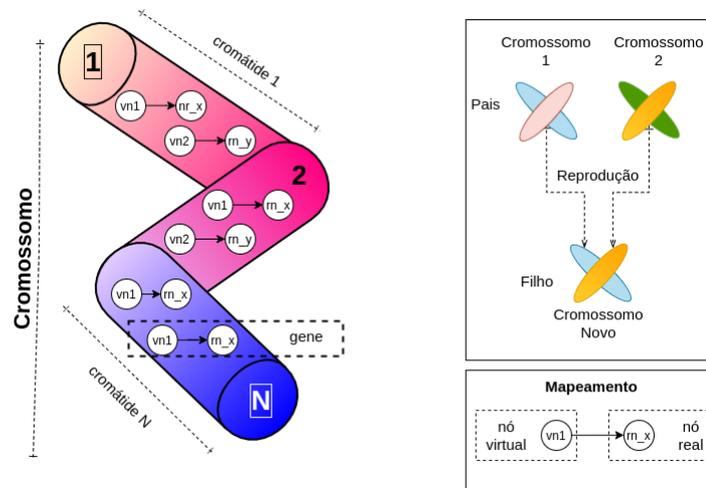
No AG a estrutura cromossômica e a função de avaliação são as duas principais partes da adaptação do processo genérico da heurística para a solução de um problema. Nesse caso, o problema de mapeamento representado por um cromossomo.

Um cromossomo é composto por uma sequência de cromátides. No AG uma cromátide é uma lista de mapeamentos de nós virtuais em nós reais. A Figura 17 ilustra a estrutura de um cromossomo.

A seguir serão apresentadas as regras para criar uma cromátide:

1. Não podem existir duas cromátides com o mesmo id;
2. O id de uma cromátide representa o id da VNR o qual ela esta abstraíndo;
3. Não podem existir em uma mesma cromátide dois mapeamentos com o mesmo nó real. Esta regra é uma imposição do VNE;
4. É um conjunto de duplas (vn, rn) , em que vn denota um nó virtual e rn um nó real;

Figura 17 – Cromossomo



Fonte: (SOUSA, 2019)

5. Um nó virtual não pode ser mapeado para um nó real cuja capacidade é menor que a demandada pelo nó virtual;
6. Cada cromátide possui um valor de avaliação. Este valor é produzido pela função de avaliação que mensura a qualidade do mapeamento;
7. A avaliação cromatídica é calculada pela diferença de toda a capacidade real do nó menos o nó virtual pedido;
8. Uma cromátide representa uma possível VNR atendido;
9. Um cromossomo é construído por 1 ou mais cromátides;

4.2 Função de Avaliação

A função de avaliação ou função de custo calcula então o valor numérico que reflete o quão bom os parâmetros representados no cromossomo resolvem o problema. Ela usa todos os valores armazenados no cromossomo e retorna um valor numérico, cujo significado é uma métrica da qualidade da solução obtida usando-se aqueles parâmetros (LINDEN, 2008). A função de avaliação é o que faz do Algoritmo Genético adaptar-se a diferentes tipos de aplicações. É a maneira como os algoritmos genéticos determina a qualidade de um indivíduo como possível solução do problema. Para a solução de mapeamento a função de avaliação irá numericamente representar o quanto a alocação de recurso está espalhada por todo o substrato. Segundo (ZHU; AMMAR, 2006), este mecanismo é uma forma genérica de evitar o *stress* na rede. Ainda segundo o autor o *stress* é um conceito que representa o quanto um nó ou um enlace está sobrecarregado.

Portanto, a função de avaliação avalia o mapeamento com uma alocação uniformemente distribuída melhor do que uma alocação que concentra os mapeamentos em um único nó. Sendo assim, o mapeamento quanto mais espalhado estiver por todo o substrato,

melhor o desempenho do servidor, evitando pequenos fragmentos que não servirá para ser alocada por outras VNRs.

A fim de atender os objetivos deste trabalho, definimos a função avaliação como expressa na Equação 4.1. A Equação 4.1 retorna um custo, este custo se refere ao valor residual das associações dos nós e enlaces virtuais realizado pelo algoritmo de mapeamento. A Tabela 1 define cada uma das variáveis e as funções presentes na equação.

$$fitness = \sum_i^{|N|} \sum_j^{|L|} \alpha \cdot \delta(\sigma(n_i)) + \beta \cdot \delta(\sigma(l_j)) \quad (4.1)$$

Tabela 1 – Lista de Símbolos.

Symbols	Definições
N	conjunto de nós virtuais
L	conjunto de enlaces virtuais
α	fator escalar de importância do mapeamento dos nós, valores entre 0 até 1.
β	fator escalar de importância do mapeamento dos enlaces, valores entre 0 e 1.
σ	retorna o recurso real de um recurso virtual.
n_i	nó virtual pertencente ao conjunto N.
l_j	enlace virtual pertencente ao conjunto L

A codificação da Equação 4.1 é apresentada na Figura 18.

Figura 18 – Função de Avaliação

```
def run_evaluation(self):
    alfa = Environment.alfa
    beta = Environment.beta
    sum_resource_nodes = 0
    for nv, nr in self.chromatid: # nv = no_virtual, nr = no_real
        sum_resource_nodes += (Environment.nodes[nr].capacity -
                               Environment.vnrs[self.id].vns[nv].requested)

    sum_resource_links = 0
    len_chromatid = len(self.chromatid)
    for i in range(len_chromatid): # self.chromatid = [(vn, rn)...()]
        node_a = self.chromatid[i][1]
        node_b = self.chromatid[(i+1) % len_chromatid][1]
        sum_resource_links += Environment.links.get((node_a, node_b), 0)

    return (alfa * sum_resource_nodes) + (beta * sum_resource_links)
```

Fonte: Fragmento do código da FA presente no método run_evaluation() da classe Chromatid.

Nossa implementação de mapeamento utilizando o Algoritmo Genético busca minimizar a somatória da função *fitness* (Equação 4.1) considerando todas as requisições.

5 Infraestrutura de Execução, Simulações e Resultados

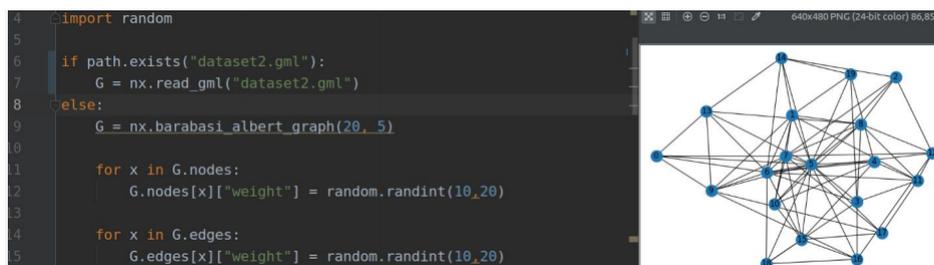
5.1 Infraestrutura de Simulação

Nessa seção são especificado o *Hardware* e o *Software* utilizados no desenvolvimento, implementação e execução dos testes. Os testes foram realizados em um computador *Intel Core i3-6006U 2.00GHz, 1.99GHz*, 4GB de RAM, Placa Integrada *Intel® HD Graphics 520*, Sistema operacional *Windows 10 Home Single Language 1903* de 64bits, Linguagem *Python 3.7*, Bibliotecas *NetworkX*.

5.2 Topologia da Rede

A biblioteca *NetworkX* do *Python* foi utilizada para criar a topologia do substrato, sendo que a topologia da rede foi simulada por um grafo. O modelo foi baseado no algoritmo de Barabasi. O algoritmo de Barabasi modela o crescimento e a topologia de redes complexas (BOCCALETTI et al., 2014). Inúmeros trabalhos da área de *Network Slicing* tem usado o Barabasi para modelar uma rede complexa tal como a infraestrutura física do 5G (GUAN et al., 2018). A Figura 19 ilustra o código criado usando a topologia de Barabasi, a biblioteca *NetworkX*, com 20 nós e 6 arestas cada.

Figura 19 – Topologia Barabasi



```

4 import random
5
6 if path.exists("dataset2.gml"):
7     G = nx.read_gml("dataset2.gml")
8 else:
9     G = nx.barabasi_albert_graph(20, 5)
10
11 for x in G.nodes:
12     G.nodes[x]["weight"] = random.randint(10,20)
13
14 for x in G.edges:
15     G.edges[x]["weight"] = random.randint(10,20)

```

Fonte: Topologia Barabasi criada para modelar o sistema.

5.3 Execuções e Resultados

A seguir, são apresentados seis grupos com resultados da saída do programa, com os seguintes parâmetros: Tamanho da População; Numero de Repetição; Custo; Indivíduo e Tempo das Gerações.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da execução do AG do primeiro grupo de teste, com os parâmetros de entrada: a. Tamanho da População = 10, b. Numero de

Tabela 2 – Primeiro Grupo de Teste

Tamanho da População	Numero de Repetição	Custo	Indivíduo	Tempo das Gerações
10	10	46,9	11	0,036
	100	42	101	0,26
	300	37,8	301	0,75
	400	46,89	401	1,20
	500	46,89	501	1,73
	1000	46,19	1001	3,62

Repetição com seis tamanhos diferentes: 10; 100; 300; 400; 500 e 1000; e os parâmetros de saída: c. Custo, que representa o custo do mapeamento; d. Indivíduo, que é do indivíduo que possui o melhor custo; e. Tempo das Gerações, que representa o tempo gasto para completar o clique da geração de novos indivíduos do primeiro grupo de Teste.

Tabela 3 – Segundo Grupo de Teste

Tamanho da População	Numero de Repetição	Custo	Indivíduo	Tempo das Gerações
100	10	38,5	11	0,37
	100	37,8	101	2,32
	300	37,09	301	6,88
	400	37,09	401	13,30
	500	37,8	501	16,69
	1000	35,9	1001	28,26

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da execução do AG do segundo grupo de teste, com os parâmetros de entrada: a. Tamanho da População = 100, b. Numero de Repetição com seis tamanhos diferentes: 10; 100; 300; 400; 500 e 1000; e os parâmetros de saída: c. Custo, que representa o custo do mapeamento; d. Indivíduo, que é do indivíduo que possui o melhor custo; e. Tempo das Gerações, que representa o tempo gasto para completar o clique da geração de novos indivíduos do segundo grupo de Teste.

Tabela 4 – Terceiro Grupo de Teste

Tamanho da População	Numero de Repetição	Custo	Indivíduo	Tempo das Gerações
300	10	35	11	0,94
	100	34,3	101	8,02
	300	34,3	301	25,58
	400	34,3	401	33,82
	500	34,3	501	38,72
	1000	34,3	1001	80,92

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da execução do AG do terceiro grupo de teste, com os parâmetros de entrada: a. Tamanho da População = 300, b. Numero de Repetição com seis tamanhos diferentes: 10; 100; 300; 400; 500 e 1000; e os parâmetros de saída: c. Custo, que representa o custo do mapeamento; d. Indivíduo, que é do indivíduo que possui o melhor custo; e. Tempo das Gerações, que representa o tempo gasto para completar o clique da geração de novos indivíduos do terceiro grupo de Teste.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da execução do AG do quarto grupo de teste, com os parâmetros de entrada: a. Tamanho da População = 400, b. Numero de

Tabela 5 – Quarto Grupo de Teste

Tamanho da População	Numero de Repetição	Custo	Indivíduo	Tempo das Gerações
400	10	35,69	11	0,89
	100	34,3	101	9,45
	300	33,59	301	26,66
	400	36,4	401	35,05
	500	35	501	49,31
	1000	35,7	1001	93,72

Repetição com seis tamanhos diferentes:10; 100; 300; 400; 500 e 1000; e os parâmetros de saída: c. Custo,que representa o custo do mapeamento; d. Indivíduo, que é do indivíduo que possui o melhor custo; e. Tempo das Gerações, que representa o tempo gasto para completar o cliço da geração de novos indivíduos do quarto grupo de Teste.

Tabela 6 – Quinto Grupo de Teste

Tamanho da População	Numero de Repetição	Custo	Indivíduo	Tempo das Gerações
500	10	33,59	11	1,07
	100	32,9	101	9,96
	300	33,59	301	31,99
	400	32,9	401	49,82
	500	35	501	66,32
	1000	35,69	1001	144,23

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da execução do AG do quinto grupo de teste, com os parâmetros de entrada: a.Tamanho da População = 500, b. Numero de Repetição com seis tamanhos diferentes:10; 100; 300; 400; 500 e 1000; e os parâmetros de saída: c. Custo, que representa o custo do mapeamento; d. Indivíduo, que é do indivíduo que possui o melhor custo; e. Tempo das Gerações, que representa o tempo gasto para completar o cliço da geração de novos indivíduos do quinto grupo de Teste.

Tabela 7 – Sexto Grupo de Teste

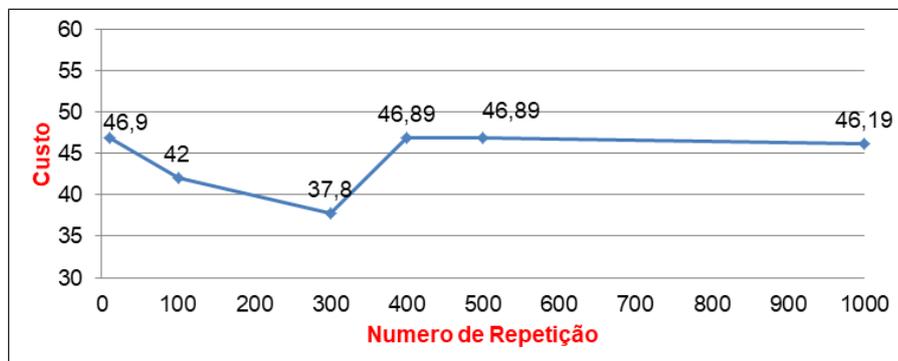
Tamanho da População	Numero de Repetição	Custo	Indivíduo	Tempo das Gerações
1000	10	34,3	11	3,17
	100	32,9	101	24,49
	300	32,2	301	84,75
	400	32,9	401	101,99
	500	33,59	501	147,99
	1000	32,9	1001	266,84

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da execução do AG do sexto grupo de teste, com os parâmetros de entrada: a.Tamanho da População = 1000, b. Numero de Repetição com seis tamanhos diferentes:10; 100; 300; 400; 500 e 1000; e os parâmetros de saída: c. Custo, que representa o custo do mapeamento; d. Indivíduo, que é do indivíduo que possui o melhor custo; e. Tempo das Gerações, que representa o tempo gasto para completar o cliço da geração de novos indivíduos do sexto grupo de Teste.

6 Análise dos Resultados

A seguir é apresentada uma análise das tabelas de cada grupo de teste. Na Tabela 2, o menor custo foi 37,8 e a maior 46,9. Esses custos mensura a qualidade de cada indivíduo como solução do problema. Cabe ressaltar que, o parâmetro Tamanho da População e Número de Repetições, quanto maior seus valores, maior é o impacto no tempo de execução e o ganho não é proporcional ao seu incremento. O gráfico (Figura 20) ilustra a evolução dos testes em relação ao Custo e o número de repetição do primeiro grupo.

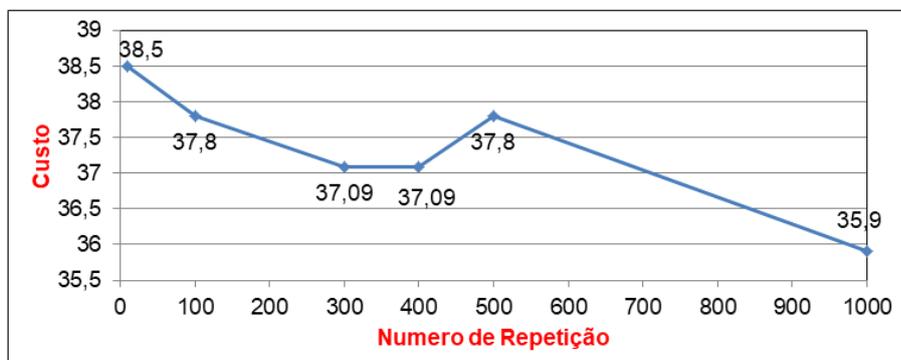
Figura 20 – Evolução dos Testes do Primeiro Grupo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 3 o menor Custo foi de 35,9 e a maior 38,5. Nesse grupo observa-se que o maior custo ficou abaixo de 39, em comparação com os custos do primeiro grupo. Portanto, nesse grupo o mapeamento foi melhor que o primeiro, devido o parâmetro Tamanho da população possuir um valor mais alto que o primeiro. O gráfico (Figura 21) ilustra a evolução dos testes em relação ao Custo e o Número de Repetição do segundo grupo.

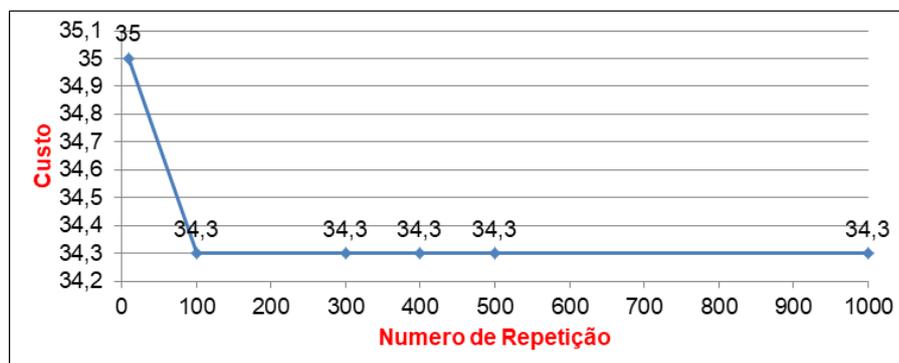
Figura 21 – Evolução dos Testes do Segundo Grupo



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Tabela 4 o menor custo foi 34,3 e o maior 35. Observa-se que nesse grupo o mapeamento foi melhor que nos dois anterior. Quanto menor o Custo, melhor é o mapeamento. O gráfico (Figura 22) ilustra a evolução dos testes em relação ao Custo e o Número de Repetição do terceiro grupo.

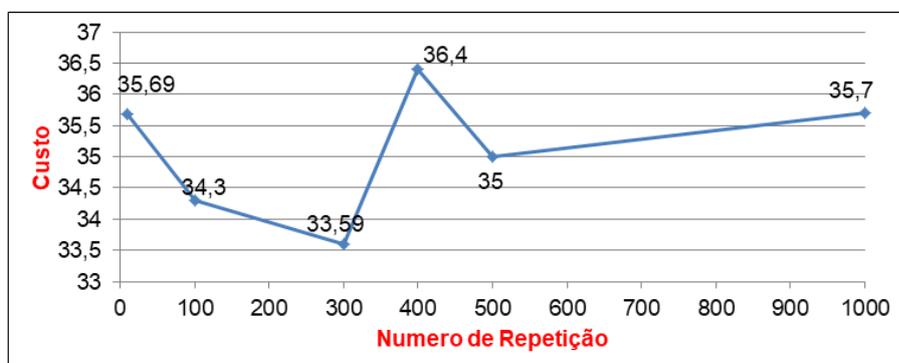
Figura 22 – Evolução dos Testes do Terceiro Grupo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 5 o menor Custo foi 34,3 e o maior 36,4. Observa-se um bom mapeamento, de forma bem distribuída por todo o substrato. O gráfico (Figura 23) ilustra a evolução dos testes em relação ao Custo e o Número de Repetição do quarto grupo.

Figura 23 – Evolução dos Testes do Quarto Grupo

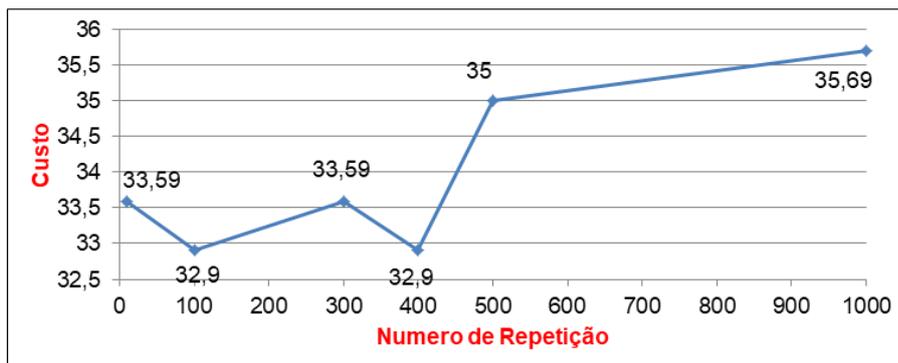


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 6 o menor Custo foi 32,9 e a maior 35,69. Portanto, observasse um ótimo mapeamento, de forma bem distribuída por todo substrato, sem fragmentar o substrato. O gráfico (Figura 24) ilustra a evolução dos testes em relação ao Custo e o Número de Repetição do quinto grupo.

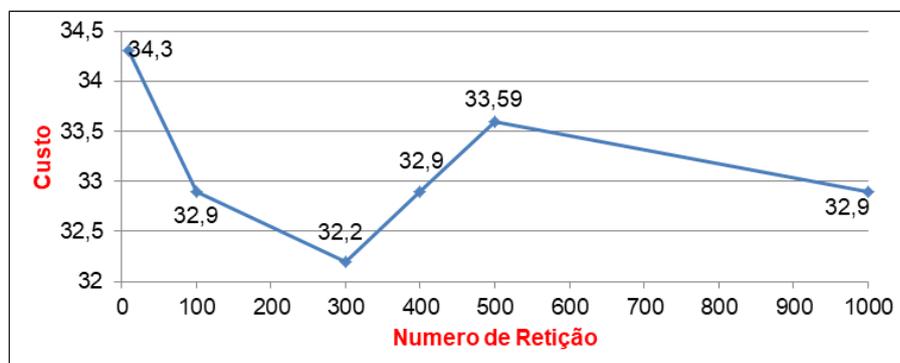
Na Tabela 7 o menor Custo foi de 32,2 e o maior 34,3. Nesse grupo foi onde obtive os melhores dos seis grupos de teste. Portanto, nesse grupo foi onde obtive um excelente mapeamento, de forma bem distribuída por todo substrato, sem sobrecarga dos nós. O gráfico (Figura 25) ilustra a evolução dos testes em relação ao Custo e o Número de Repetição do sexto grupo.

Figura 24 – Evolução dos Testes do Quinto Grupo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25 – Evolução dos Testes do Sexto Grupo



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.1 Análise

Primeiramente, observou que os melhores Custos foram da tabela do sexto grupo, com o parâmetro tamanho da população igual a 1000 e o segundo melhor custo foi do quinto grupo, com parâmetro tamanho da população igual a 500. Dessa forma, o AG conseguiu atingir bons resultados com parâmetros de tamanhos diferentes, levando em consideração o cenário utilizado para realizar os testes. Cabe mencionar o tempo gasto para realizar cada mapeamento de cada grupo em relação ao Custo, sendo que, os grupos que obtiveram os melhores custos, foram os que gastaram mais tempo para realizar o mapeamento. No quinto grupo foram gastos 303,39 (trezentos e tres segundos e trinta e nove milissegundos), e no sexto grupo foram gastos (seiscentos e vinte e nove segundos e vinte e três milissegundos).

Levando em consideração a complexidade do problema em questão, o AG conseguiu realizar um bom mapeamento das requisições em um tempo hábil em comparação a cada grupo de teste. Sendo que, quanto maior o valor Tamanho da População, melhor são os

Custos, mas conseqüentemente maior é o tempo gasto para realizar o mapeamento.

Nesse presente trabalho as VNRs e toda a capacidade do substrato é conhecida a priori, dessa forma o mapeamento só é realizado caso exista espaço suficiente no substrato, não sendo possível reconfigurar o mapeamento das VNRs para reorganizar a alocação de recursos. Esse modelo de mapeamento tende a ter bons resultados em termos de otimização.

7 Conclusão

A virtualização de redes é uma técnica que permite a existência de varias redes virtuais sobre uma rede física. Contudo, encontrar o melhor mapeamento dessas redes virtuais no substrato da rede de forma eficiente, sem desperdício de recursos é uma tarefa árdua.

Neste presente trabalho foi realizado um estudo a respeito de Network Slice, e o uso de Algoritmos Genéticos para solucionar o problema de mapeamento de requisições de redes virtuais de forma dinâmica, com o objetivo de poder aumentar o numero de requisições atendidas. Onde foram obtidos bons resultados em termos de otimização. Portanto a principal contribuição desse trabalho é a consideração do uso dos Algoritmos Genéticos para realizar mapeamentos em ambientes reais. Sendo que nesse trabalho as requisições foram tratadas de forma *offline*.

Levando em consideração a complexidade do problema de mapeamento de Requisições de Redes Virtuais e os trabalhos propostos na literatura, foi de grande importancia estudar a respeito desse problema e propor uma possível solução viável. Podendo servi de base para trabalho futuros.

Como trabalhos futuros, esse trabalho é uma perspectiva para quem quiser fazer uma comparação desse Algoritmo Genético utilizando novas heurísticas, com novos cenários.

Referências

- 3GPPLTE. *3GPP LTE Release 8.0, Overview of 3GPP release 8 V 0.3.3 2014*. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/specifications/releases/72-release-8>>. Citado na página 16.
- AGIWAL, M.; ROY, A.; SAXENA, N. Next generation 5g wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 18, n. 3, p. 1617–1655, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 17 e 18.
- ALKMIM, G. P. et al. Mapeamento de redes virtuais em substratos de rede. [sn], 2012. Citado 4 vezes nas páginas 13, 21, 23 e 25.
- ALLIANCE, G. An introduction to network slicing. *White Paper*, 2017. Citado na página 21.
- ANDERSEN, D. G. Theoretical approaches to node assignment. Carnegie Mellon University, 2002. Citado na página 23.
- ANDERSON, T. et al. Overcoming the internet impasse through virtualization. *Computer*, IEEE, v. 38, n. 4, p. 34–41, 2005. Citado na página 19.
- ARAÚJO, S. M.; GUIDONI, D. L.; SOUZA, F. S. D. A metaheuristic approach for the virtual network embedding problem. In: IEEE. *2015 IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications*. [S.l.], 2015. p. 68–75. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- ASSOCIATION, G.-P. et al. *Contractual Arrangement: Setting up a Public-Private Partnership in the Area of Advance 5G Network Infrastructure for the Future Internet between the European Union and the 5G Infrastructure Association*. [S.l.]: Dec, 2013. Citado na página 16.
- BARAKABITZE, A. A. et al. 5g network slicing using sdn and nfv: A survey of taxonomy, architectures and future challenges. *Computer Networks*, Elsevier, v. 167, p. 106984, 2020. Citado na página 22.
- BEASLEY, D.; BULL, D. R.; MARTIN, R. R. An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals. *University computing*, v. 15, n. 2, p. 56–69, 1993. Citado na página 27.
- BENTO, E. P.; KAGAN, N. Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição. *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica*, SciELO Brasil, v. 19, n. 3, p. 302–315, 2008. Citado na página 27.
- BISWASH, S. K. et al. Device-to-device communication in 5g networks. *Mobile Networks and Applications*, Springer, v. 22, n. 6, p. 995–997, 2017. Citado na página 17.
- BOCCALETTI, S. et al. The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports*, Elsevier, v. 544, n. 1, p. 1–122, 2014. Citado na página 37.
- BOJANOVA, I.; VOAS, J. Trusting the internet of things. *IT Professional*, IEEE, v. 19, n. 5, p. 16–19, 2017. Citado na página 12.

- BOOYSEN, M. J. et al. Machine-to-machine (m2m) communications in vehicular networks. Korea Society of Internet Information (KSII), 2012. Citado na página 17.
- CAMILO, B. C.; COUTO, R. S.; COSTA, L. H. M. Assessing the impacts of ipsec cryptographic algorithms on a virtual network embedding problem. *Computers & Electrical Engineering*, Elsevier, v. 71, p. 752–767, 2018. Citado na página 20.
- CHOWDHURY, N. M. K.; BOUTABA, R. Network virtualization: state of the art and research challenges. *IEEE Communications magazine*, IEEE, v. 47, n. 7, p. 20–26, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 13, 19, 20 e 25.
- EJAZ, W. et al. Internet of things (iot) in 5g wireless communications. *IEEE Access*, IEEE, v. 4, p. 10310–10314, 2016. Citado na página 12.
- ERAMO, V.; MIUCCI, E.; AMMAR, M. Study of reconfiguration cost and energy aware vne policies in cycle-stationary traffic scenarios. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, IEEE, v. 34, n. 5, p. 1281–1297, 2016. Citado na página 24.
- FISCHER, A. et al. Virtual network embedding: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 15, n. 4, p. 1888–1906, 2013. Citado 7 vezes nas páginas 12, 13, 20, 21, 23, 24 e 25.
- GAREY, M.; JOHNSON, D. Computers and intractability: A guide to the theory of np-completeness, edited by wh freeman. *San Francisco, New York, USA*, 1979. Citado na página 34.
- GOLDBERG, D. E. Genetic algorithms in search. *Optimization, and Machine Learning*, Addison Wesley Publishing Co. Inc., 1989. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 32.
- GUAN, W. et al. A service-oriented deployment policy of end-to-end network slicing based on complex network theory. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 19691–19701, 2018. Citado na página 37.
- INTELLIGENCE, G. Understanding 5g: Perspectives on future technological advancements in mobile. *White paper*, p. 1–26, 2014. Citado na página 18.
- INTELLIGENCE, G. Understanding 5g: Perspectives on future technological advancements in mobile. *White paper*, p. 1–26, 2014. Citado na página 19.
- KIM, S. A new multicasting device-to-device communication control scheme for virtualized cellular networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Hindawi, v. 2019, 2019. Citado na página 18.
- KLEINBERG, J. M. *Approximation algorithms for disjoint paths problems*. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, 1996. Citado na página 23.
- LI, X. et al. Network slicing for 5g: Challenges and opportunities. *IEEE Internet Computing*, IEEE, v. 21, n. 5, p. 20–27, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 12, 19, 20 e 22.
- LINDEN, R. *Algoritmos genéticos (2a edição)*. [S.l.]: Brasport, 2008. Citado 8 vezes nas páginas 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34 e 35.
- LIU, X. et al. Optimal virtual network embedding based on artificial bee colony. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, SpringerOpen, v. 2016, n. 1, p. 1–9, 2016. Citado na página 25.

- MALAGUIAS, N. G. L. et al. Uso dos algoritmos genéticos para a otimização de rotas de distribuição. Universidade Federal de Uberlândia, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.
- MCKEOWN, N. et al. Openflow: enabling innovation in campus networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM New York, NY, USA, v. 38, n. 2, p. 69–74, 2008. Citado na página 19.
- MEYER-BAESE, A.; SCHMID, V. J. *Pattern recognition and signal analysis in medical imaging*. [S.l.]: Elsevier, 2014. Citado na página 29.
- NGUYEN, L. D. et al. Rt-vne: A real-time strategy for virtual network embedding towards resource efficiency. In: IEEE. *2017 international conference on information networking (ICOIN)*. [S.l.], 2017. p. 185–190. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- OLIVEIRA, R. R. et al. Opportunistic resilience embedding (ore): Toward cost-efficient resilient virtual networks. *Computer Networks*, Elsevier, v. 89, p. 59–77, 2015. Citado na página 25.
- PORTAL, E. *Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges and Call for Action*. [S.l.]: Oct, 2012. Citado na página 19.
- QADIR, J. et al. Network as a service: the new vista of opportunities. *arXiv preprint arXiv:1606.03060*, 2016. Citado na página 21.
- RAZZAQ, A.; HIDEEL, M.; SJÖDIN, P. Virtual network embedding: a hybrid vertex mapping solution for dynamic resource allocation. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, Hindawi, v. 2012, 2012. Citado na página 23.
- REZENDE, P. H.; MADEIRA, E. R. Um componente de network slicing para o suporte de multi-inquilinos nas rans do lte. In: SBC. *Anais Principais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. [S.l.], 2018. Citado na página 16.
- SAMDANIS, K.; COSTA-PEREZ, X.; SCIANCALEPORE, V. From network sharing to multi-tenancy: The 5g network slice broker. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 54, n. 7, p. 32–39, 2016. Citado na página 22.
- SOUSA, R. G. Alocação de recursos no contexto de network slicing as a service baseado em algoritmos genéticos: Teoria e prática. *ANAIS ELETRÔNICOS SINFO 2019 - ISBN nº 978-65-00-00628-5*, 2019. Citado na página 35.
- TALEB, T. et al. On multi-access edge computing: A survey of the emerging 5g network edge cloud architecture and orchestration. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 19, n. 3, p. 1657–1681, 2017. Citado na página 12.
- VORA, L. J. Evolution of mobile generation technology: 1g to 5g and review of upcoming wireless technology 5g. *International journal of modern trends in engineering and research*, v. 2, n. 10, p. 281–290, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- ZANELA, E. H. R. et al. Proposta de vim on-demand para fatiamento de nuvem. Universidade Federal de São Carlos, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 21.

ZHU, Y.; AMMAR, M. H. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components. In: CITESEER. *INFOCOM*. [S.l.], 2006. v. 1200, n. 2006, p. 1–12. Citado na página [35](#).

ZUIN, V. G.; ZUIN, A. Á. S. A formação no tempo e no espaço da internet das coisas. *Educação & Sociedade*, SciELO Brasil, v. 37, n. 136, p. 757–773, 2016. Citado na página [18](#).



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”**

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
 Monografia
() Artigo

Eu, Matheus Rodrigues da Silva,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de 02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar, gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação Estudo sobre Network Slicing, o Uso de Algoritmos Genéticos para Solução do Problema de Alocamento de Recursos sob o Olhar do 5G de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 14 de Maio de 20 21.

Matheus Rodrigues da Silva
Assinatura

Matheus Rodrigues da Silva
Assinatura