



ESTG

FRAMEWORK DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UTILIZAÇÃO DE REDES SDN COM A  
INTEGRAÇÃO DE IA NOS MUNICÍPIOS PORTUGUESES

2023



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

# FRAMEWORK DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UTILIZAÇÃO DE REDES SDN COM A INTEGRAÇÃO DE IA NOS MUNICÍPIOS PORTUGUESES

Filipe Macedo Torres



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

Filipe Macedo Torres

FRAMEWORK DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA  
UTILIZAÇÃO DE REDES SDN COM A INTEGRAÇÃO DE IA  
NOS MUNICÍPIOS PORTUGUESES

Trabalho de Prpjeto de Mestrado  
Engenharia Informática

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Luís Manuel Cerqueira Barreto

Março de 2023



## Abstract

The constant technological evolution makes the services of a network and the Internet increasingly demanding, because the exponential increase in the volume of data treated, as well as the volume of data traffic circulating in computer networks, requires the development of more flexible, efficient and dynamic networks. To respond to the need for more flexible and dynamic networks, a new concept of network architecture known as SDN - Software Defined Network was developed. These networks are divided into three levels: the control plan, the data plan and the network management plan. The network control plan can be used as the brain of the network. In this way, SDN networks can benefit from recent advances in Artificial Intelligence (AI), which can improve network learning skills and improve the decision-making process, making networks more efficient and flexible. Taking this into account, this dissertation provides an overview of the applications of SDN networks and how these networks can benefit from the application of AI for better and more effective operation. Given that Portuguese municipalities provide and use many services based and supported in computer networks, a proposal for a Framework to Support the Development of The Use of SDN Networks with the Integration of AI in Portuguese Municipalities is presented. In order to better understand and identify the existing gaps of the municipalities, in the level of technological development of computer networks and in the technical knowledge of their human resources at the level of SDN networks and what the potential benefit of their integration with AI, a survey was conducted that allowed us to understand the state of knowledge and the potential of these technologies in the institutions mentioned. The proposed Framework allows us to help fill these existing gaps, thus allowing the goal of 5 to 6 years to be achieved, that all Portuguese municipalities are at the same level, i.e., know the SDN networks and their potentialities with the integration of AI, thus allowing a more effective and efficient provision of services to Portuguese citizens. The Framework is divided into 4 parts: human resources, technology, strategy and action plan.

**Keywords:** Framework, SDN, Artificial Intelligence, municipalities.





## Resumo

A constante evolução tecnológica torna os serviços de uma rede e da Internet cada vez mais exigentes, pois o aumento exponencial do volume de dados tratados, assim como o volume de tráfego de dados que circulam nas redes de computadores, exige o desenvolvimento de redes mais flexíveis, eficientes e dinâmicas. Para responder à necessidade de redes mais flexíveis e dinâmicas, foi desenvolvido um novo conceito de arquitetura de rede conhecido como SDN - Rede Definida por Software. Estas redes dividem-se em três níveis: o plano de controlo, o plano de dados e o plano de gestão de rede. O plano de controlo da rede pode ser usado como o cérebro da rede. Desta forma, as redes SDN podem beneficiar dos recentes avanços na Inteligência Artificial (IA), que podem permitir melhorar as competências de aprendizagem da rede e melhorar o processo de tomada de decisão, tornando as redes mais eficientes e flexíveis. Tendo isso em conta, esta dissertação apresenta uma visão geral das aplicações das redes SDN e como estas redes podem beneficiar da aplicação de IA para um melhor funcionamento e mais eficaz. Atendendo a que os Municípios Portugueses disponibilizam e utilizam muitos serviços baseados e suportados em redes de computadores, é apresentada uma proposta de uma *Framework* para Apoio ao Desenvolvimento da Utilização de Redes SDN com a Integração de IA nos Municípios Portugueses. Para melhor compreender e identificar as lacunas existentes, dos municípios, ao nível de desenvolvimento tecnológico das redes informáticas e no conhecimento técnico dos seus recursos humanos a nível das redes SDN e qual o potencial benefício da sua integração com IA, foi realizado um inquérito que permitiu perceber o estado de conhecimento e das potencialidades dessas tecnologias nas instituições referidas. A *Framework* proposta permite ajudar a colmatar essas lacunas existentes, permitindo assim que seja alcançado o objetivo, no prazo de 5 a 6 anos, de que todos os municípios portugueses estejam ao mesmo nível, ou seja, conheçam as redes SDN e as suas potencialidades com a integração da IA, permitindo dessa forma uma mais eficaz e eficiente prestação de serviços aos cidadãos portugueses. A *Framework* está dividida em 4 partes: recursos humanos, tecnologia, estratégia e plano de ação.

**Palavras-chave:** Framework, SDN, Inteligência Artificial, Municípios.



# Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com importantes apoios e incentivos, sem os quais não seria possível concluir este trabalho e assim chegar ao fim desta etapa. Gostava de expressar o meu agradecimento a todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, contribuíram e ajudaram na conclusão deste projeto.

Quero começar por agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Luís Barreto, por todo o apoio, pela paciência, pela competência, pelo seu esforço, dedicação e empenho, e pelas palavras de motivação e de conforto, ao longo destes meses.

Agradecer a toda a minha família, em especial à minha filha, Matilde, e à minha esposa, Patrícia, por todo o apoio, ajuda compreensão e por todos os sacrifícios suportados, de forma a concluir esta etapa.

Agradecer ainda ao amigo e colega de mestrado, Jorge Neiva, pelo companheirismo, incentivo, assim como os longos períodos que tivemos de discussão e troca de ideias.

Por último, agradecer aos meus colegas de turma do mestrado pelo apoio e companheirismo ao longo desta fase.



# Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto - Enquadramento . . . . .	1
1.2 Motivação . . . . .	3
1.3 Objetivos . . . . .	3
1.4 Metodologia . . . . .	4
1.5 Estrutura da Dissertação . . . . .	5
<b>2 Estado da Arte</b>	<b>7</b>
2.1 Inteligência Artificial . . . . .	7
2.2 Machine Learning . . . . .	9
2.3 História da Inteligência Artificial . . . . .	16
2.4 Software Defined Network - SDN . . . . .	21
2.4.1 Arquitetura SDN . . . . .	23
2.4.1.1 Camada 1 - Infraestrutura . . . . .	25
2.4.1.2 Camada 2 - Southbound Interface . . . . .	26
2.4.1.3 Camada 3 - Hypervisor da Rede (Network Hypervisor) . . . . .	26
2.4.1.4 Camada 4 - Sistema Operativo de Rede (Network Operating System) . . . . .	27
2.4.1.5 Camada 5 - Northbound Interface . . . . .	27

2.4.1.6	Camada 6 - Virtualização Baseada em Programação . . . . .	28
2.4.1.7	Camada 7 - Linguagens de Programação . . . . .	28
2.4.1.8	Camada 8 - Aplicações de Rede . . . . .	28
2.4.2	Eastbound / Westbound Interface . . . . .	29
2.4.3	Controlador SDN . . . . .	30
2.4.4	Protocolo OpenFlow . . . . .	30
2.4.4.1	Funcionamento do OpenFlow . . . . .	31
2.4.4.2	Encaminhamento de Pacotes . . . . .	33
2.4.4.2.1	Controlador OpenFlow . . . . .	33
2.4.4.2.2	Tabelas de Fluxo . . . . .	34
2.4.4.2.2.1	Correspondência de Pacotes . . . . .	36
2.4.4.2.2.2	Falhas de Correspondência . . . . .	36
2.4.4.2.3	Instruções . . . . .	36
2.4.4.2.4	Ações . . . . .	37
2.4.4.2.5	Tabela de Grupo . . . . .	38
2.4.4.2.6	Tabelas de Medição . . . . .	40
2.4.4.2.7	Mensagens e Eventos OpenFlow . . . . .	42
2.5	Frameworks SDN . . . . .	45
2.6	Inteligência Artificial nas Redes Informáticas . . . . .	48
2.6.1	Aplicação da IA nas Redes de Computadores Tradicionais . . . . .	48
2.6.2	Aplicação de IA nas Redes SDN . . . . .	49
2.6.3	Aplicações de Machine Learning nas Redes SDN . . . . .	50
<b>3</b>	<b>Estado de Maturidade da Utilização das Redes SDN e IA nos Municípios</b>	<b>53</b>
3.1	Caracterização Demográfica do Inquérito . . . . .	54
3.2	Análise de Conhecimentos e Utilização da Tecnologia de Rede SDN. . . . .	58
3.3	Benefícios da Utilização das Redes SDN . . . . .	62
3.4	Integração da Inteligência Artificial nas Redes SDN . . . . .	67
3.5	Observação e Análise das Relações . . . . .	78
3.5.1	Relação Entre Conhecer o Conceito SDN e a Categoria Profissional . . . . .	79

3.5.2	Relação Entre Categoria Profissional e Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN . . . . .	80
3.5.3	Relação Entre Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN e a Zona Geográfica . . . . .	80
3.6	Conclusões do Inquérito . . . . .	81
<b>4</b>	<b>Framework</b>	<b>83</b>
4.1	O Porquê da Framework . . . . .	83
4.2	Framework . . . . .	84
4.2.1	Tecnologia - Integração das Redes SDN com a IA. . . . .	86
4.2.2	Recursos Humanos . . . . .	88
4.2.3	Estratégia . . . . .	89
4.2.4	Plano de Ação . . . . .	89
4.3	Conclusão . . . . .	92
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>93</b>
5.1	Limitações . . . . .	94
5.2	Trabalho Futuro . . . . .	95
	<b>Referências</b>	<b>97</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>113</b>
<b>A</b>	<b>Questionário aos Municípios</b>	<b>115</b>





# Lista de Figuras

2.1	Alguns dos subcampos da IA [21] . . . . .	10
2.2	Evolução da IA, do ML e do DL [11] . . . . .	11
2.3	Programação Tradicional vs Machine Learning [24] . . . . .	12
2.4	Aprendizagem Supervisionada [11] . . . . .	13
2.5	Aprendizagem Não Supervisionada [11] . . . . .	13
2.6	Aprendizagem Semi-Supervisionada [11] . . . . .	14
2.7	Aprendizagem Por Reforço [11] . . . . .	14
2.8	Aprendizagem Profunda ( <i>Deep Learning</i> ) [11] . . . . .	15
2.9	O que é uma SDN? . . . . .	22
2.10	Arquitetura Tradicional versus SDN [43] . . . . .	22
2.11	Camadas da Arquitetura SDN [48] . . . . .	24
2.12	Arquitetura SDN dividida em a) Planos b) Camadas e c) Design [44, 49] . . . . .	25
2.13	Implementação de controlador SDN distribuído. [57] . . . . .	29
2.14	Componentes do <i>Switch OpenFlow</i> [61]. . . . .	31
2.15	<i>Switch OpenFlow</i> idealizado. A Tabela de Fluxo é controlada por um controlador remoto através do Canal Seguro [62] . . . . .	32
2.16	Identificação do fluxo pelo <i>switch</i> e execução das ações [46] . . . . .	33
2.17	Tabela de Fluxo, adaptado a partir de [1, 44] . . . . .	34
2.18	Principais componentes de uma entrada de fluxo [61] . . . . .	35
2.19	Componentes constituem uma tabela de grupo [61] . . . . .	39
2.20	Componentes constituem uma tabela de medição [61] . . . . .	41
2.21	Componentes constituem uma banda de medição [61] . . . . .	42
2.22	Tipo de Mensagens <i>OpenFlow</i> [46] . . . . .	43

3.1	Distribuição por Grupo Etário. . . . .	55
3.2	Distribuição por Género. . . . .	55
3.3	Distribuição Geográfica dos Municípios Participantes no Inquérito. . . . .	57
3.4	Distribuição dos Participantes por Tipo de Carreira\Categoria . . . . .	58
3.5	Distribuição do Conhecimento sobre o Conceito de Redes SDN. . . . .	59
3.6	Distribuição dos Municípios que Trabalham com a Tecnologia SDN. . . . .	59
3.7	Distribuição dos Motivos Para Não Utilizar a Tecnologia de Rede SDN. . . . .	61
3.8	Distribuição do Interesse em Utilizar a Tecnologia de Rede SDN. . . . .	62
3.9	Distribuição da Opinião se a Gestão de Rede e a Engenharia de Tráfego Beneficiam das Redes SDN. . . . .	63
3.10	Distribuição da Opinião se o Balanceamento de Carga (Gestão de Largura de Banda) Beneficia das Redes SDN. . . . .	64
3.11	Distribuição da Opinião se a Segurança Beneficia das Redes SDN. . . . .	65
3.12	Distribuição da Opinião se o Controlo Distribuído de Aplicações e Integração na Cloud (Virtualização) Beneficiam das Redes SDN. . . . .	66
3.13	Distribuição da Opinião se a Monitorização e Inteligência de Rede Beneficiam das Redes SDN. . . . .	67
3.14	Distribuição da Opinião sobre "Vê Vantagens da Integração da IA nas Redes SDN". . . . .	68
3.15	Distribuição da Opinião sobre se a "Segurança" seria uma das áreas mais importantes da integração da IA nas redes de tecnologia SDN. . . . .	69
3.16	Distribuição da Opinião sobre se a "Engenharia de tráfego" ganharia benefícios com a integração da IA nas redes SDN. . . . .	70
3.17	Distribuição da Opinião sobre se a "Otimização de Rotas de Encaminhamento" iria beneficiar com a integração da IA com a tecnologia de rede SDN. . . . .	71
3.18	Distribuição da Opinião sobre se a "Gestão de Recursos" retira partido da integração da IA com a tecnologia de rede SDN. . . . .	72
3.19	Distribuição da Opinião sobre se a "Qualidade de Serviço (QoS)" é uma área que sai favorecida com a integração da IA com a tecnologia de Redes SDN. . . . .	73

3.20	Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de uma “Gestão Mais Eficiente dos Recursos” . . .	74
3.21	Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Redução de Custos na Gestão de Rede”. . .	75
3.22	Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de uma “Gestão Eficiente de Recursos de Rede”. . . . .	76
3.23	Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Disponibilização de Mais Serviços” . . . . .	77
3.24	Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Aumento da Disponibilidade” . . . . .	78
3.25	Relação Entre Conhecer o Conceito SDN e a Categoria Profissional. . . . .	79
3.26	Relação Entre Categoria Profissional e Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN. . . . .	80
3.27	Relação Entre Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN e a Zona Geográfica. . . . .	81
4.1	Desenho da <i>Framework</i> . . . . .	85
4.2	Diagrama das Etapas que constituem o Plano de Ação da <i>Framework</i> . . . . .	90
4.3	<i>Roadmap</i> de Implementação do Plano de Ação da <i>Framework</i> . . . . .	91



# Lista de Tabelas

2.1	Comparação dos Vários Algoritmos ML [26, 29, 30, 31] . . . . .	16
2.2	Portas Reservadas de um <i>Switch OpenFlow</i> [46] . . . . .	38
3.1	Distribuição geográfica das respostas dos inquiridos participantes. . . . .	57
3.2	Situações em que os Municípios utilizam Redes SDN . . . . .	60
3.3	Motivos de quem respondeu na questão anterior a opção "Outros". . . . .	61



# Lista de Abreviaturas

**5G** Redes de 5<sup>a</sup> Geração

**API** Application Programming Interface

**BAMSDN** Bandwidth Allocation Model through Software-Defined Networking

**DDoS** Distributed Denial of Service

**DL** Deep Learning

**DoS** Denial of Service

**DQL** Deep Q-Learning

**DRL** Deep Reinforcement Learning

**DSCP** Differentiated Services Code Point

**DT** Decision Tree

**FCAPS** Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security

**GPS** General Problem Solver

**IA** Inteligência Artificial

**IBM** International Business Machines Corporation

**ID** Identifier

**IoT** Internet of Things



**IP** Internet Protocol

**IPL** Information Processing Language

**KNN** K-Nearest Neighbor

**LISP** List Processing

**LT** Logic Theorist

**MAC** Media Access Control

**MIT** Massachusetts Institute of Technology

**ML** Machine Learning

**MPLS** Multi Protocol Label Switching

**NAT** Network Address Translation

**NFV** Network Function Virtualization

**NOS** Network Operating System

**ONF** Open Networking Foundation

**OWC** Optical Wireless Communication

**PBB** Provider Backbone Bridge

**QoE** Quality of Experience

**QoS** Quality of Service

**RAND** Research ANd Development Corporation

**RF** Random Florest

**RH** Recursos Humanos

**RL** Reinforcement Learning

**RTOF** Real Time OpenFlow

**SDN** Software Defined Network

**SDOWC** Software Defined Optical Wireless Communication

**SSL** Secure Sockets Layer

**SVM** Support Vector Machine

**TCP** Transmission Control Protocol

**TTL** Time-to-Live

**VLAN** Virtual Local Area Network



# Capítulo 1

## Introdução

Este primeiro capítulo dedica-se à introdução do tema da dissertação, em que se apresenta o contexto em que este trabalho está inserido, seguido da motivação, descrição dos objetivos de investigação e dos resultados esperados. A secção final deste capítulo descreve como a dissertação é estruturada.

### 1.1 Contexto - Enquadramento

As redes de computadores tradicionais foram desenvolvidas há várias décadas, e se por um lado ainda dão resposta uma grande parte das necessidades, por outro lado mostram falta de flexibilidade.

Assim nos últimos tempos assistimos a uma grande mudança no tradicional tráfego de dados que circulam nas redes de computadores, tornando-se mais exigentes, principalmente devido ao aparecimento do *Big Data*, *Cloud Computing Services*, exigindo dos datacenters uma maior escalabilidade e flexibilidade [1].

Apesar do conceito de rede "Software Defined Network" (SDN) já ter sido desenvolvido há vários anos, este só ganhou visibilidade a partir do desenvolvimento do protocolo *OpenFlow* [2].

No entanto este tipo de redes (SDN) também apresentam algumas desvantagens, das quais se destacam a latência, pois quantos mais dispositivos ligados maior a latência. Outra das desvantagens prende-se com o controlador SDN, pois quando este falha a rede

fica inoperacional.

Quanto ao conceito de Inteligência Artificial (IA), surgiu a meados do século XX após a realização da conferência de Dartmouth, em 1956, sendo considerado John McCarthy o criador desse conceito [3]. Nos anos oitenta, este conceito perdeu uma grande parte do seu folgo tendo voltado a ganhar novamente importância na década de 90 [4].

A Inteligência Artificial (IA) começou a desempenhar um papel fundamental na melhoria do desempenho dos sistemas informáticos, por sua vez, as redes de computadores impulsionadas pela necessidade da introdução de novos serviços e aplicações seguem a mesma tendência. A Integração das redes SDN com a IA, permite melhorar o desempenho e simplificar a gestão de uma rede. Dado que, desta forma, apresenta um conjunto de novos mecanismos para lidar com os problemas relacionados com as redes SDN [5].

A IA ajuda em algumas funções importantes, como auxiliar no balanceamento de carga, ou seja, ajuda a minimizar a latência e desta forma maximiza a taxa de transferência, na criação de melhores condições de segurança dos sistemas e na melhoria da gestão dos recursos *"in real time"* [5].

Para compreender melhor e perceber o enquadramento da utilização de redes SDN e da IA nos Municípios portugueses, foi elaborado um inquérito para permitir perceber qual o desenvolvimento tecnológico e os níveis de conhecimento técnico, e se os Municípios percebem como uma mais valia uma possível migração para as redes de tecnologia SDN e também se a integração da Inteligência artificial com as redes SDN potencia benefícios.

Quando se propõem a criação de uma *Framework* para ajudar na migração de uma rede de computadores tradicional para a tecnologia SDN, falamos na descrição das etapas que devem ser seguidas de forma a que a referida migração seja uma realidade. Convém referir, que o processo real de migração de uma rede de computadores tradicional em pleno funcionamento é muito mais complexo, pois consiste em pegar num sistema que se encontra a funcionar e *"on the fly"* transferi-lo para outro sistema com tecnologia SDN. Não esquecendo que é um processo que acarreta risco, pois se não for feito planeamento como deve de ser, podem ser criados problemas antes inexistentes para o administrador de rede, gestores e utilizadores.

Ao longo desta dissertação, quando for utilizado o termo autarquias locais, esclarece-se que só é feita referência aos Municípios/Câmaras Municipais, deixando assim de fora as

juntas de freguesia.

## 1.2 Motivação

Este trabalho surge da necessidade de possibilitar que os Municípios portugueses façam, caso assim o pretendam, utilizando as novas tecnologias, uma gestão mais eficiente de um recurso como são as redes de computadores e a sua melhor utilização e gestão, criando uma *framework* que lhes permita, num futuro próximo, migrar as suas redes de computadores tradicionais para a nova tecnologia de rede SDN e a sua integração com a IA.

A necessidade desta mudança passa por dotar as autarquias locais com mais capacidade de respostas face às exigências e desafios encontrados diariamente. Permitindo desta forma disponibilizar os mais variados serviços, *online*, com melhor qualidade (QoS) e dessa forma dar uma melhor resposta dos serviços municipais prestados aos cidadãos.

## 1.3 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é o de definir uma *framework* para melhorar os serviços prestados *online* pelas autarquias locais (câmaras municipais). Para isso, é necessário perceber qual o cenário nas câmaras municipais a nível de utilização e da perceção de redes de tecnologia SDN, e se a integração com a IA será vista como uma mais valia e potenciadora de uma melhor gestão desses serviços. De forma a obter-se resposta a essas questões foi elaborado um inquérito para melhor perceber qual o nível de conhecimento da utilização dessas tecnologias pelos Municípios portugueses, bem como a sua possibilidade de as utilizar.

Assim, de modo a ir de encontro ao referido anteriormente, foram consideradas as seguintes questões de investigação:

- Qual o cenário a nível de conhecimento / desenvolvimento tecnológico das redes de computadores dos Municípios portugueses?
- Quais os conhecimentos técnicos dos recursos humanos afetos à gestão da redes de computadores e o seu conhecimento da tecnologia SDN e a sua integração com IA?

- Que critérios se devem ter em conta de forma a permitir a migração das redes de computadores tradicionais para as redes SDN com a integração da IA?

Só assim é que se consegue responder à questão principal:

**De que forma a *Framework* de Apoio ao Desenvolvimento da Utilização de Redes SDN com a Integração de IA nos Municípios Portugueses pode trazer benefícios para os gestores de rede e para os cidadãos?**

## 1.4 Metodologia

A metodologia de investigação adotada foi uma abordagem qualitativa porque se baseia na interpretação de fenómenos observados e no significado que carregam ou no significado atribuído pelo investigador, considerando a realidade e a particularidade de cada objeto da pesquisa, suportada numa revisão da literatura. A revisão de literatura permite novas abordagens e perspetivas, obtendo-se novas conclusões, sendo essencial já que possibilita a fundamentação das ideias que serão apresentadas e desenvolvidas ao longo da dissertação. Esta metodologia de investigação de base teórica permite perspetivar novos conceitos de aplicação no domínio das SDN e da IA. Os resultados empíricos deduzidos são também importantes para o desenvolvimento de estudos e trabalhos futuros [6]. O processo é descritivo, indutivo e de observação que considera a singularidade do sujeito e a subjetividade do fenómeno, sem levar em conta princípios já estabelecidos [7].

Para o desenvolvimento da *Framework* recorreu-se a uma estratégia do tipo estudo de caso (*case study*), neste caso dos Municípios portugueses. Esta é uma técnica utilizada para obter um conhecimento concreto, contextual e específico da atualidade de uma instituição ou empresa [8]. Para um conhecimento concreto dos Municípios foi desenvolvido um inquérito e recolhida informação com base nesse inquérito. Os estudos de caso são muito utilizados em engenharia e de acordo com [9] um estudo de caso é uma investigação empírica de uma realidade concreta, utilizando vários dados para estudar um determinado episódio durante o seu contexto na vida real, onde o investigador não assume um papel ativo no caso investigado.

No que diz respeito aos objetivos específicos utilizou-se a pesquisa exploratória [10],

pois as pesquisas exploratórias pretendem facilitar o conhecimento do investigador sobre o problema objeto da pesquisa, para tornar a questão mais clara, e com a realização de um inquérito aos municípios portugueses, que permitiu conhecer o desenvolvimento tecnológico e conhecimentos técnicos existentes nas autarquias locais.

Para que os objetivos fossem alcançados, o trabalho foi desenvolvido em diferentes fases, conforme se descreve de seguida:

- Enquadramento teórico relacionado com a temática das redes SDN e com a integração da IA;
- Caracterização do cenário dos Municípios portugueses a nível de redes de computadores;
- Elaboração de uma *Framework* de forma a por em prática um plano de ação de forma a permitir a migração das redes tradicionais para redes SDN com integração de IA.

## 1.5 Estrutura da Dissertação

Este documento está dividido em 5 capítulos, que são os seguintes, Introdução, Estado da Arte, Estado de Maturidade da Utilização das Redes SDN e IA nos Municípios Portugueses, *Framework* e Conclusão.

No capítulo 1, Introdução, é apresentado o contexto, os objetivos, a motivação do desenvolvimento deste trabalho, metodologia utilizada e por fim a estrutura da dissertação.

No capítulo 2, Estado da Arte é feita uma descrição da Inteligência Artificial e sua evolução ao longo dos anos, depois é feita uma apresentação da tecnologia SDN e por fim é feita uma exposição sobre a integração da Indigência Artificial com as redes de computadores tradicionais e a integração da Inteligência Artificial e as redes SDN.

No capítulo 3, Estado de Maturidade da Utilização das Redes SDN e IA nos Municípios, é feita uma análise ao resultados do inquérito realizado às Autarquias Locais de forma ajudar a perceber em que ponto de situação é que estas se encontram a nível de conhecimentos e de utilização das redes de tecnologia SDN.



No capítulo 4, *Framework*, é apresentada, de forma teórica, uma *Framework* que ajuda a planear a migração das redes informáticas tradicionais para as redes de tecnologia SDN.

Por ultimo no capítulo 5, *Conclusões*, é feito um resumo de todo o trabalho realizado, são descritas as limitações encontradas e assim como os trabalhos futuros.

## Capítulo 2

# Estado da Arte

Neste capítulo é feita uma apresentação da Inteligência Artificial e sua evolução ao longo dos anos, depois é feita uma apresentação da tecnologia SDN, passando depois à apresentação de várias *Frameworks* SDN, de seguida é feita uma exposição sobre a integração da Inteligência Artificial com as redes de computadores tradicionais e a integração da Inteligência Artificial e as redes SDN e por fim é apresentada a aplicação de alguns algoritmos de *Machine Learning*, subcampo da IA, divididos pelas várias categorias nas redes SDN.

### 2.1 Inteligência Artificial

Hoje em dia está muito na moda falar-se em Inteligência Artificial (IA), pois este tema é abordado através dos mais variados e diferentes meios de comunicação. Por outro lado, a IA entrou nas nossas vidas, das mais diversificadas formas, por via tecnológica, escrita, cinema, televisão, rádio, entre outras [11].

As ações do ser humano estão diretamente ligadas à inteligência, sendo esta requerida ao nível das mais diversas e variadas tarefas, nomeadamente na compreensão das linguagens, na capacidade de expressão e na aprendizagem [12].

Antes de se falar de IA, devemos primeiro perceber qual o significado de Inteligência. O dicionário de língua portuguesa, define inteligência como um “Conjunto de todas as

faculdades intelectuais (memória, imaginação, juízo, raciocínio, abstração e conceção)”<sup>1</sup>.

Por outro lado, pode-se resumir como “faculdade de adquirir e aplicar conhecimentos e capacidades” [12].

O dicionário online de língua portuguesa da Porto Editora (2022) define o termo “Inteligência Artificial” como sendo uma “área da informática cujo objetivo é a aplicação do conhecimento dos processos cognitivos humanos aos sistemas informáticos que reproduzem aqueles processos”<sup>2</sup>.

Por outras palavras, a inteligência artificial pode ser circunscrita como uma área de estudo do campo da informática, que se preocupa com questões relacionadas com o desenvolvimento dos computadores, de modo que estes sejam capazes de se envolver em processos de pensamento tal como os humanos: aprender, raciocinar ou realizar tarefas [12].

Entre a inteligência artificial e a humana, existem várias diferenças significativas, sendo que a que mais se destaca é a consciência. No reino animal, à exceção dos invertebrados que são providos de inteligência e consciência, isto é, tem consciência do mundo em redor da sua própria existência, das ações e consequências [11].

A própria definição de IA é volátil e tem mudado ao longo dos tempos. Kaplan e Haenlein [13] definem a IA como “a capacidade de um sistema para interpretar corretamente dados externos, para aprender com esses dados, e para utilizar essas aprendizagens para alcançar objetivos e tarefas específicas através da adaptação flexível” [14].

Em 2010, Poole e Mackworth [15] definem a IA como “o campo que estuda a síntese e análise de agentes computacionais que atuam de forma inteligente”. Um agente é algo ou alguém que atua [14].

O termo Inteligência Artificial (IA), foi utilizado pela primeira vez em 1956 pelo professor John McCarthy, numa conferência em Dartmouth College, considerado um dos pais da Inteligência Artificial, que a definiu como:

*“It is the science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs. It is related to the similar task of using computers to understand*

---

<sup>1</sup>Dicionário Priberam

<sup>2</sup>Infopédia Dicionários Porto Editora (14/11/2020) - <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa>

*human intelligence, but Artificial Intelligence does not have to confine itself to methods that are biologically observable” [16].*

Traduzindo, “A Inteligência Artificial é a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes, especialmente programas de computador inteligentes. Ela está relacionada com a tarefa de usar computadores para entender a inteligência humana, mas a inteligência artificial não precisa de estar limitada a métodos biologicamente observáveis”.

De forma resumida, o professor John McCarthy, define a IA como “a ciência e a engenharia de produzir máquinas inteligentes”. Isto é, permite que sistemas tomem decisões de forma independente, precisa e apoiada em dados [17].

Uma definição mais simples é referida por Luger e Stubblefield [18] em que a IA é entendida como uma disciplina que tem por objetivo o estudo e a construção de entidades artificiais com capacidades cognitivas semelhantes às dos seres humanos [19].

Se por um lado a IA é uma ciência que tem como objetivo estudar e compreender a inteligência, por outro é um ramo da engenharia que procura construir instrumentos de apoio ao Homem [20]. O conhecimento é essencial para a construção de sistemas inteligentes. Estes têm como função a capacitação do computador para que este execute tarefas que habitualmente são desempenhadas pelo ser humano, recorrendo ao conhecimento e ao raciocínio [17, 20].

A IA é uma área que se encontra em constante desenvolvimento e que por sua vez é constituída por variados subcampos, nos quais se incluem, representação de conhecimento, raciocínio, planeamento, tomada de decisão, otimização, aprendizagem máquina (ML) e algoritmos meta-heurísticos, entre outros, conforme se pode observar na figura 2.1.

## 2.2 Machine Learning

O *Machine Learning* é um subcampo da IA focado na criação de algoritmos que utilizam a experiência em relação a uma classe de tarefas e feedback, sob a forma de desempenho medido para melhorar a execução nessa tarefa [14].

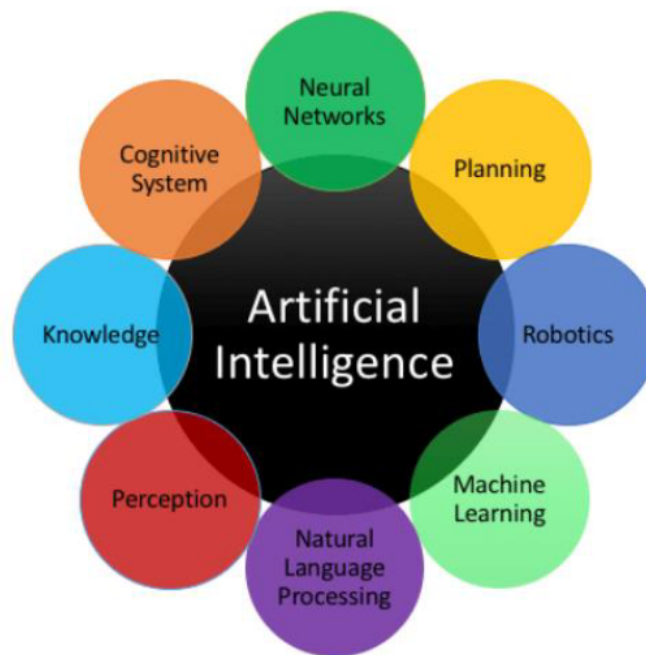


Figura 2.1: Alguns dos subcampos da IA [21]

Em 1959, Arthur Samuel, um dos pioneiros da IA definiu *Machine Learning (ML)* pela primeira vez como:

*“Field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed” [22].*

Ou seja, “O ML é o campo de estudo que permite que computadores aprendam sem que sejam programados de forma explícita”.

No entanto, só na década 1980 é que o ML viria a ganhar maior relevância, após a realização de dois Workshops e a edição de um livro [23].

O *Machine Learning (ML)* é uma técnica de computação que permite aos computadores “aprenderem” por si próprios. É constantemente chamada de IA, mas essa é apenas uma das suas características. A principal característica que diferencia o ML de outras formas de IA é a sua capacidade dinâmica de se modificar quando é exposto a mais dados. Isto é, através da análise dos dados, a máquina aperfeiçoa-se a si própria, desenvolvendo a sua lógica de acordo com os dados que foram analisados e dessa forma contribuíram para melhorar a sua aprendizagem.

O *Machine Learning* é um tipo de inteligência artificial que permite que as aplicações de software se tornem mais precisas a prever resultados sem serem explicitamente pro-

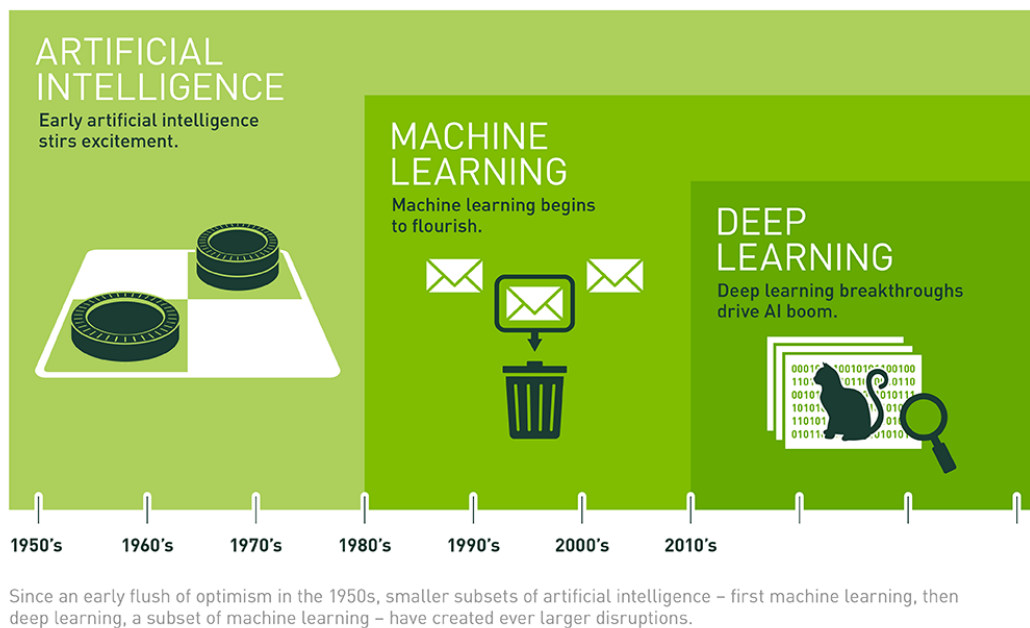


Figura 2.2: Evolução da IA, do ML e do DL [11]

gramadas. A premissa básica do *Machine Learning* é de construir algoritmos que consigam receber dados e usar análise estatística para prever um resultado dentro do alcance aceitável [24].

Sendo o ML um ramo da IA focado no desenho e desenvolvimento de algoritmos que permitem os computadores fortalecer determinados comportamentos baseado em dados empíricos. Desta forma cada algoritmo é composto por três elementos: representação, avaliação e otimização [11].

Em ML são fornecidos os dados e deixamos que os algoritmos aprendam de forma a obter-se os resultados esperados em futuras situações, para as quais não tenham sido ensinados. Não é preciso saber a relação dos dados com o resultado, sendo essa a missão do ML. Por outro lado, o conjunto de parâmetros é afinado de forma a melhorar a fiabilidade dos resultados. A diferença entre a programação tradicional e o *Machine Learning*, consiste em que na programação tradicional conhecemos os dados, conhecemos os resultados, conhecemos a relação entre os dados e constrói-se essa relação programaticamente de forma a obtermos os resultados esperados de uma forma mais rápida e fiável. No caso das regras mudarem, temos a necessidade de recodificar o programa. Enquanto que no ML é

esperado que ele deduza essa mudança de regras ao ser novamente "treinado" com novos dados e resultados esperados em função dos novos dados [11].

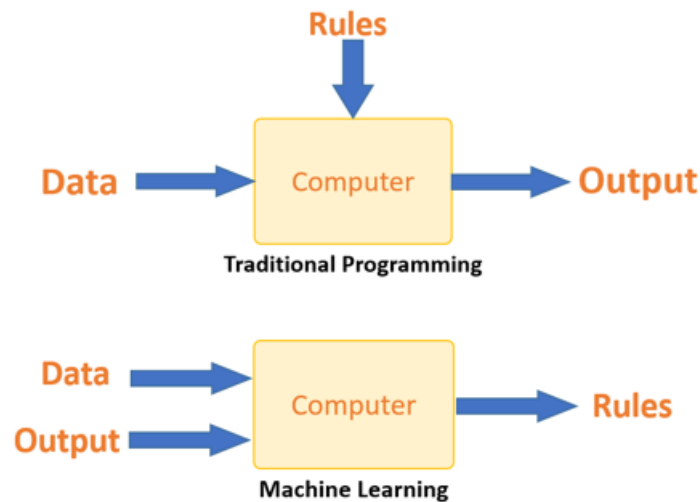


Figura 2.3: Programação Tradicional vs Machine Learning [24]

Resumidamente, José Soares no seu artigo para a revista de Ciências da Computação, em 2019, descreve o ML como sendo "um ramo da IA focalizado no desenho e desenvolvimento de algoritmos que permitem os computadores desenvolver determinados comportamentos baseados em dados empíricos" [11].

Os algoritmos de ML dividem-se em quatro grupos: aprendizagem supervisionados (*supervised learning*) [25], aprendizagem não supervisionados (*unsupervised learning*) [26], aprendizagem de reforço (*reinforcement learning*) [27], aprendizagem semi-supervisionada (*semi-supervised learning*) [25, 26, 28] e aprendizagem profunda (*deep learning*) [11].

Os algoritmos de aprendizagem supervisionados requerem a intervenção humana, tanto para fornecer os dados de entrada como o resultado esperado, isto é, exemplos previamente classificados, sendo a máquina responsável por fazer a ligação entre as duas partes [24]. O conceito é igual à aprendizagem na escola [11].

Por sua vez os algoritmos de aprendizagem não supervisionados, são alimentados com dados de treino, dados estes que não incluem o resultado desejado, isto é, fornece-se um conjunto de dados ao algoritmo e este deverá ser capaz de deduzir as relações potenciais entre os dados, permitindo que este seja agrupados de acordo com a similaridade entre eles [25], uma vez que os dados anteriormente fornecidos não foram previamente classificados

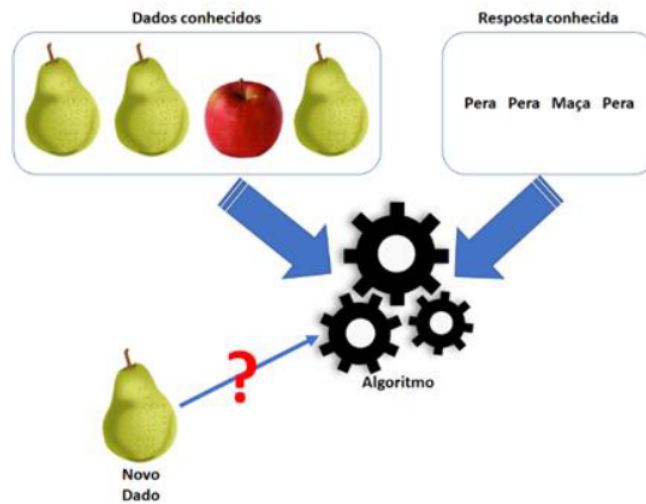


Figura 2.4: Aprendizagem Supervisionada [11]

[11]. Esta abordagem caracteriza-se por permitir à máquina aprender mais livremente.

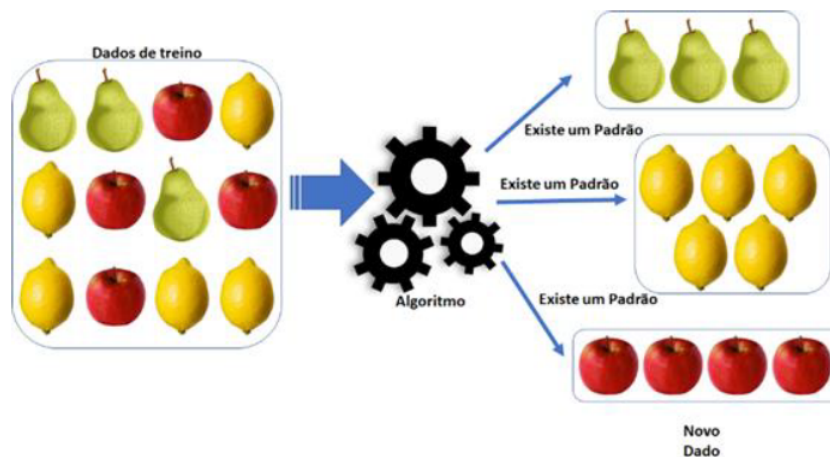


Figura 2.5: Aprendizagem Não Supervisionada [11]

Nos algoritmos semi-supervisionados, o sistema aprende com base em dados classificados e não classificados, onde a falta de classificação, bem como a parte classificada pode conter algum ruído aleatório derivado da aprendizagem supervisionada e da aprendizagem não supervisionada [26]. A motivação principal por detrás da aprendizagem semi-supervisionada, consiste em aprender mais rápido e melhor [11].

A aprendizagem por reforço é um modelo de aprendizagem comportamental, pois existem recompensas na sequência das ações, isto é, atribui-se um prémio quando é atingida uma meta e um castigo quando não é atingida a meta [11]. O algoritmo recebe o resultado da análise dos dados e decide qual a ação a realizar. Este tipo de aprendizagem é



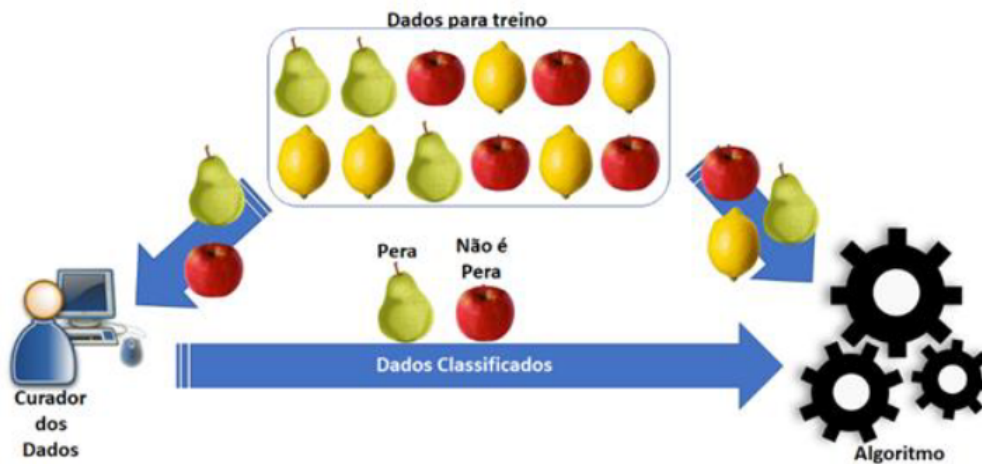


Figura 2.6: Aprendizagem Semi-Supervisionada [11]

baseado na tentativa erro, isto significa que uma série de decisões bem sucedidas resultará na melhor decisão para o problema, caso contrário resultará num fracasso [27].

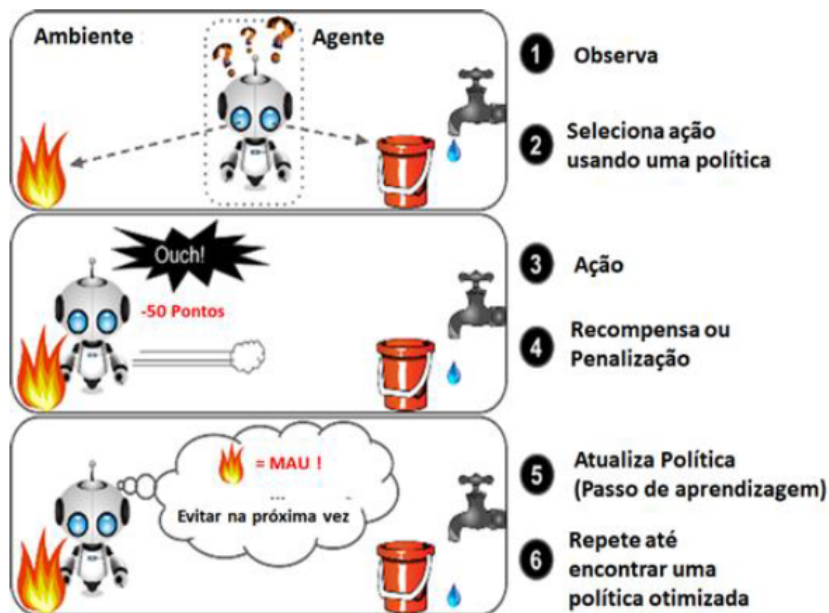


Figura 2.7: Aprendizagem Por Reforço [11]

Por fim a abordagem *Deep Learning* ou em português aprendizagem profunda, que pode ir além das redes neurais, sendo nessa área onde tem maior expressão. Trata-se de uma técnica de *Machine Learning*, que consiste em permitir ensinar/instruir os algoritmos a fazer o que é natural nos humanos, como por exemplo aprender [11]. As redes neurais moldam processos com várias fases ou caminhos, permitindo assim uma aprendizagem

mais interativa a partir dos dados fornecidos. A utilização deste método torna-se bastante útil em casos onde se pretende aprender padrões de dados não organizados (estruturados). Assim o sistema de redes neurais do *deep learning* consegue simular a lógica de funcionamento de um cérebro humano, conseguindo desta forma torna-los capazes de resolver problemas bastante abstratos [21].

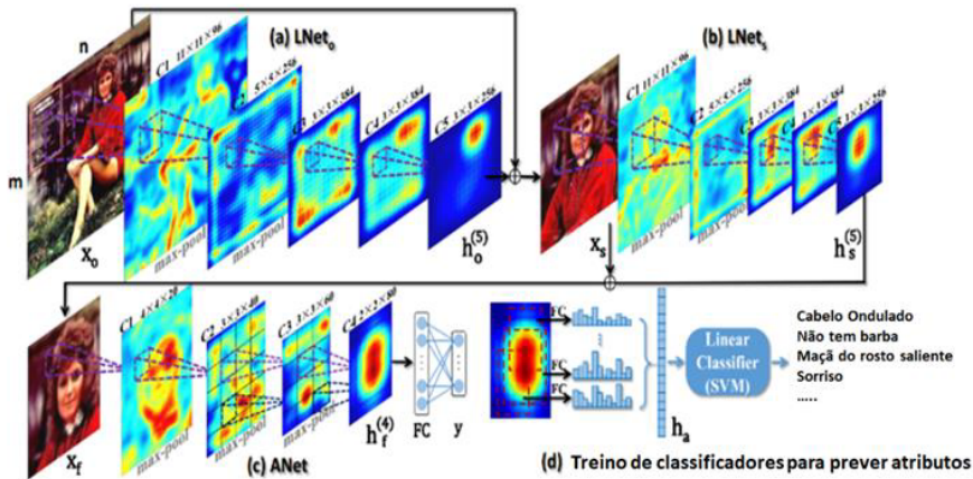


Figura 2.8: Aprendizagem Profunda (*Deep Learning*) [11]

Assim, os algoritmos de aprendizagem supervisionada são vulgarmente aplicados para orientar tarefas de classificação e regressão, enquanto que os algoritmos de aprendizagem não supervisionados e de aprendizagem por reforço são utilizados para conduzir tarefas de agrupamento e tomada de decisão, respetivamente [25]. Já o *deep learning* é muito utilizado em reconhecimento de imagens e voz, assim como tem aparecido embebido nos mais diversos equipamentos como telemóveis, *tablets* e televisões [11].

A tabela 2.1 mostra uma comparação entre os principais tipos de abordagem de ML [25, 26, 28].

Atualmente, a capacidade de armazenar dados e a capacidade do poder de computação dos algoritmos, são os fatores que mais efeito têm no crescimento da IA. A capacidade e o poder dos processadores, como é do conhecimento geral, aumentaram exponencialmente. Assim, encontram-se acessíveis a grandes quantidades de dados, dos repositórios científicos, bem como de outras bases, sendo que as máquinas inteligentes têm capacidade de explorar essas mesmas bases [32, 33].

Tabela 2.1: Comparação dos Vários Algoritmos ML [26, 29, 30, 31]

Abordagem ML	Vantagens	Desvantagens
Aprendizagem Supervisionada	Aprende com dados classificados. Generaliza bem com base num suficiente conjunto de dados.	Requer um conjunto de dados que representa o sistema. Os dados são classificados manualmente por especialistas humanos, o que não é apropriado para aplicações no mundo real.
Aprendizagem Não Supervisionada	Encontra padrões escondidos sem depender dos dados classificados. Apresenta melhor desempenho para dados despercebidos em comparação com abordagem supervisionada.	Pode não fornecer uma visão útil sobre os padrões escondidos e o que realmente significam.
Aprendizagem Semi-Supervisionada	Aprende com dados classificados e não classificados. Certas suposições sobre a distribuição de dados subjacentes devem ser atendidas.	Pode levar a um pior desempenho quando escolhermos suposições erradas.
Aprendizagem Por Reforço	Adaptação dinâmica e refinamento gradual. Um agente interage com um ambiente incerto, no qual o objetivo é maximizar a recompensa. Também pode ser utilizado para problemas difíceis que não tenham formulação analítica.	Há um compromisso entre exploração e aproveitamento. Além disso, precisamos especificar uma função de recompensa, política parametrizada, estratégia e política inicial.

## 2.3 História da Inteligência Artificial

Foi no ano de 1943 que surgiu a primeira obra na área de inteligência artificial, resultado do trabalho desenvolvido entre McCulloch e Pitts. Estes investigadores desenvolveram um modelo de um neurónio funcional, tendo ficado conhecido como a “unidade de McCulloch-Pitts” [34]. Foi a partir deste trabalho que se tornou possível modelar o cérebro humano em ambiente laboratorial.

Já em 1950 Marvin Minsky e Dean Edmonds construíram o SNARC, que ficou conhecido como o desenvolvimento da primeira rede neural artificial. Esta consiste na simulação de um rato a correr num labirinto [34].

No mesmo ano, Alan Turing, publica o artigo intitulado “*Computing Machinery and Intelligence*”, tendo este jogo ficado conhecido como o *Teste de Turing*. Este teste consistia em uma entrevista entre um humano e um computador. O computador entrevistava o humano e, após a conversa, se o humano não conseguisse perceber que as perguntas tinham sido feitas por uma máquina, ou por outro humano, então a máquina teria passado no teste [35].

Alan Turing defendia que o comportamento inteligente de um computador manifesta-se na capacidade de este alcançar um desempenho ao nível dos humanos no cumprimento de tarefas relacionadas com o conhecimento [12, 14]. Por outro lado, este argumento de Turing torna-se algo controverso, pois não especifica quanto tempo o humano teria de falar com o computador antes de tomar uma decisão [14].

O matemático húngaro, John Von Neumann, foi outro dos autores que contribuiu para a evolução da IA. Amigo e colega de Turing, influenciado principalmente por McCulloch e Pitts, deu mais tarde suporte à dupla Minsky e Edmond, durante o desenvolvimento do primeiro computador de rede neural [36]. Deixou contribuições nos mais diversos campos, dos quais se destacam a matemática, economia ou teoria dos jogos.

No ano de 1955, quatro cientistas elaboram uma proposta intitulada “*A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence*” [37], onde era proposto que fosse levado a cabo uma conferência de dois meses e dez homens para discutir sobre o tema. Os quatro elementos que elaboraram a proposta foram John McCarthy, Professor no Colégio de Dartmouth, em conjunto com Marvin Minsky, da Universidade de Harvard, Nathaniel Rochester, da IBM Corporation e Claude Shannon, dos Laboratórios Bell Telephone [3, 37].

Durante dois meses, no verão do ano de 1956, nos Estados Unidos, o cientista e professor John McCarthy em conjunto com os restantes organizadores levaram a cabo a aquela que ficou conhecida como “Conferência de Dartmouth”, onde os quatro organizadores convidaram outros investigadores que também partilhavam o interesse pela IA e que permitiu que trocassem e discutissem ideias. Entre os convidados que participaram estavam Trenchard More e Arthur Samuel da IBM, Oliver Selfridge e Ray Solomonoff, do MIT e à última da hora foram também convidados Allen Newell, da RAND Corporation e Herbert Simon do Instituto Carnegie de Pittsburgh [3].

Diversos autores associam este ano ao nascimento da Inteligência Artificial, assim como consideram John McCarthy o seu criador.

Em 1955, Allen Newel e Herbert Simon, com ajuda do Clifford Shaw, começaram a desenvolver um programa de computador que, anos mais tarde, foi considerado o primeiro programa de inteligência artificial: *Logic Theorist (LT)* [20, 38].

O *Logic Theorist* viria a ser apresentado na conferência de Dartmouth, onde foi dado a conhecer as especificidades do programa. Este foi projetado para resolver teoremas matemáticos, tendo este sido o primeiro trabalho apresentado pelos investigadores Allen Newell e Herbert Simon em conjunto com Clifford Shaw [39].

Em paralelo com este trabalho, Newell e Shaw trabalharam no desenvolvimento de uma linguagem de programação de computador, designada por IPL (*for Information Processing*

*Language*), que consiste na técnica de processamento de listas para programação [39]. Em agosto de 1956, foi executado pela primeira vez o Logic Theorist, recorrendo-se a um computador JOHNNIAC (em homenagem a John von Neumann) usando IPL [20, 39].

Herbert Simon explicou o *Logic Theorist* como: "Inventámos um programa de computador capaz de pensar de forma não numérica, e assim resolvemos o problema entre a mente e corpo, explicando como um sistema composto de matéria pode ter as propriedades da mente" (" *We have invented a computer program capable of thinking non-numerically, and thereby solved the venerable mind—body problem , explaining how a system composed of matter can have the properties of mind.*") [20, 39].

No ano de 1957, Newell e Simon, voltaram a ser referenciados, agora com o desenvolvimento do programa "*General Problem Solver*" (*GPS*). Este programa caracterizava-se pela forma de imitar o ser humano na resolução de qualquer problema, bastando para isso efetuar uma descrição adequada do problema. O GPS nunca atingiu as pretensões idealizadas, tendo falhado na resolução de problemas mais complexos [20, 38, 40].

Os contributos de John McCarthy para o avanço da IA não ficaram só pela organização da conferência de Dartmouth. No ano de 1958, mudou-se para o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) onde desenvolveu uma das mais antigas linguagens de programação de alto nível, o *LISP* (*List Processing*) tendo-se tornado numa das ferramentas mais importantes da IA [20].

Outro contributo de John MaCarthy consistiu na publicação de um artigo, também em 1958, intitulado "*Programs with Common Sense*" onde apresentou um programa chamado "*Advice Take*", este software consistia em encontrar soluções para problemas gerais do mundo [36].

Em 1959 Arthur Samuel desenvolveu um programa de jogar damas, com o intuito de mostrar que o computador podia aprender sozinho, chegando assim a essa conclusão quando o programa derrotou o seu criador no jogo[20, 38]. Ao mesmo tempo a IBM desenvolve alguns dos primeiros programas de IA, dos quais se destacam o "*Geometry Theorem Prover*" da autoria de Hebert Gelernter [36].

Com as constantes descobertas na área, foram surgindo novos campos na IA, dos quais se destaca o *Machine Learning*, considerado por muitos autores a principal área de desenvolvimento. Arthur Samuel, em 1959, definiu ML como "campo de estudo que

permite que computadores aprendam sem que sejam programados explicitamente”, isto é, consiste em fornecer à máquina mecanismos que permitam que esta aprenda através da experiência [20, 36].

Outros campos surgiram, como as redes neuronais e os algoritmos genéticos, sendo estas duas abordagens mais populares subjacentes ao *Machine learning*. Posteriormente, na década de 60, surgiram estudos na área do processamento de linguagem natural, isto é, sistemas que de uma forma geral consistem em compreender a linguagem. Em 1957, surgiram tentativas de evolução do processo de tradução automática, pela conversão de voz em texto [12].

Em 1962, Rosenblatt demonstrou o teorema da convergência do *perceptron* (*perceptron convergence theorem*), demonstrando que o seu algoritmo de aprendizagem poderia ajustar as forças de conexão de um *perceptron* [20, 36]. Este trabalho teve como base o trabalho em redes neuronais iniciado por McCulloch e Pitts.

Em 1965 Lotfi Zadeh, professor da universidade da Califórnia, publicou o seu famoso artigo “*Fuzzy Sets*“. Este artigo, veio a ser considerado a principal base da teoria de *Fuzzy Sets*. Duas décadas mais tarde, investigadores da teoria de *fuzzy* construíram centenas de máquinas e sistemas inteligentes [36, 40].

Weizenbaum apresentou em 1966 “Eliza” [40], sendo descrito como um “programa que permite uma conversa em linguagem natural com um computador”, tornando-se assim no primeiro chatbot e sendo uma das primeiras tentativas de simular o comportamento de um psicoterapeuta, onde este pedia que os utilizadores explicassem os seus sentimentos. Conseguindo assim ser um dos primeiros programas a ultrapassar o *Test de Turing* [41].

A década de 70 e 80 ficou marcada pela fase a que muitos autores chamam do “inverno da IA”. Nesta época, os governos de vários países, e as entidades financiadoras, retiraram os apoios financeiros que se encontravam destinados à IA, acrescendo também o poder limitado e caro da computação. Por outro lado, havia a necessidade de resolver os mistérios que têm por base o pensamento humano. Apesar de haver um grande desinvestimento, as investigações continuaram a avançar em todo o mundo [12].

O professor Hélder Coelho, do Departamento de Informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, resume que, nestes 50 anos, a IA passou “por altos e baixos”. Após um período inicial de grande euforia, travessou um momento mau, tendo levado ao

fracasso de algumas empresas no final dos anos 80 <sup>3</sup>.

Em 1996, a IBM apresenta o IBM Deep Blue, desenvolvido nos seus laboratórios. Este computador ficou famoso em 1997, por ser o primeiro computador a derrotar, à época, o campeão do Mundo de Xadrez, o russo Gary Kasparov, num jogo de 6 partidas, com a duração de vários dias [12].

Em 2014, a Amazon lança a sua assistente virtual, a "Alexa", com capacidade para desenvolver várias tarefas, desde acender ou apagar uma luz, ou reproduzir uma música. Já em 2011 a Apple tinha desenvolvido a "Siri", a principal concorrente da "Alexa" e, em 2018, foi a vez da Google dar a conhecer a "Google Duplex". A utilização destas assistentes, no dia a dia, por parte dos humanos vai ganhando cada vez mais importância [12].

Em 2018, a empresa MEO apresenta a "Sophia", que não é mais do que um robot criado pela Hanson Robotics. O robot dispõe de inteligência artificial, permitindo manter uma conversa com um ser humano, tendo inclusive contracenado com Cristiano Ronaldo na campanha publicitaria da Meo <sup>4</sup>.

A Google, em 2021, disponibilizou algumas notícias onde refere que é capaz de desenvolver chips de computador através da técnica de "aprendizagem de reforço", em apenas 6 horas. Estes chips que a IA da Google desenvolveu podem ser iguais, ou podem até ser melhores, aos que são desenvolvidos por humanos<sup>5</sup>.

Outra revelação importante feita pela Google, também ainda durante o ano de 2021, está ligada à utilização da IA na área da saúde, pois encontra-se a ser desenvolvida uma aplicação de assistência dermatológica, permitindo assim perceber o que esta acontecer com o maior órgão do corpo humano, a pele, bastando para isso utilizar a câmara do seu *smartphone*.

Esta aplicação consiste em recolher algumas imagens da pele e, de seguida, são feitas algumas perguntas para ajudar a fazer uma análise e assim compreender qual poderá ser o problema. Esta ferramenta é o culminar de vários anos de estudo de *Machine Learning*. Foi também aqui onde foi estreada a abordagem de *Deep Learning* na avaliação de doenças

---

<sup>3</sup><https://www.publico.pt/2006/07/09/jornal/inteligencia-artificial-faz-50-anos-87953>

<sup>4</sup><https://visao.sapo.pt/exameinformatica/noticias-ei/mercados/2018-03-13-meo-lanca-nova-box-de-tv-sofia-e-o-nome/>

<sup>5</sup><https://pplware.sapo.pt/google/google-usa-ia-para-conceber-chips-em- apenas-6-horas/>

de pele, onde o sistema demonstrou capacidades de atingir com precisão o diagnóstico ao nível de um médico dermatologista<sup>6</sup>.

O Cientista Stephen Hawking<sup>7</sup> e o empresário Elon Musk<sup>8</sup> (dono da Tesla), partilham publicamente a mesma opinião, já que olham com pessimismo para os perigos da inteligência artificial se voltarem contra nós (seres humanos). Esta possibilidade não é impossível de acontecer, mas uma grande parte dos especialistas acreditam que será possível desenvolver soluções para minimizar o perigo ou remediar uma situação negativa<sup>9</sup>.

## 2.4 Software Defined Network - SDN

Atualmente as tecnologias estão em constante evolução, surgindo novidades a cada instante. As redes de computadores não são exceção. Esta constante evolução tecnológica deu origem à determinação SDN – *Software Defined Network* [2], traduzido para português como Rede Definida por Software.

Quando se fala da evolução das redes de computadores, falamos ao mesmo tempo na evolução de dispositivos, de serviços, de aplicações e também em novas formas de ataques à segurança.

As estruturas das redes de comunicação atualmente são bastante complexas, pelo que a sua manutenção e o desenvolvimento de novas funcionalidades e serviços não são vulgarmente fáceis de serem desenvolvidas e ou implementadas [42].

Assim sendo, as redes SDN deram origem a um novo paradigma de controlo nas infraestruturas das redes de comunicação, tendo por isso, um grande impacto não só na operação da rede em si, mas em todo o desenvolvimento realizado em torno das mesmas, isto é, desde serviços de rede, serviços distribuídos, aplicações na e da Internet, entre outras [42].

Por sua vez, a transição para o mundo das redes SDN pode não ser um processo fácil quer para profissionais, quer para investigadores desta área, face à sua diversidade, características e potencialidades [42].

---

<sup>6</sup><https://blog.google/technology/health/ai-dermatology-preview-io-2021/>

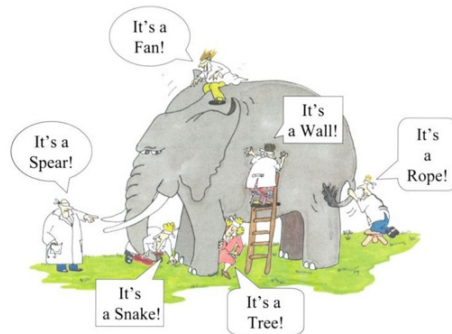
<sup>7</sup>[https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/12/141202\\_hawking\\_inteligencia\\_ai](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/12/141202_hawking_inteligencia_ai)

<sup>8</sup><https://observador.pt/2017/07/17/elon-musk-temos-de-regular-a-inteligencia-artificial-antes-que-seja-tarde-demais/>

<sup>9</sup><https://fia.com.br/blog/inteligencia-artificial/>



## O que são as redes definidas por Software?



### Demasiadas definições

- Open Flow
- Southbound API
- Northbound API
- Control and Data planes separation
- Control Plane centralization
- Network Virtualization
- Automation

Mais do que um mecanismo, tecnologia ou protocolo ...  
**É uma mudança de paradigma na forma como se cria, gere e opera uma rede**

Figura 2.9: O que é uma SDN?

fonte: <https://pplware.sapo.pt/informacao/check-point-summer-summit-2017-reuniu-300-pessoas/>

Mas para se compreender como funciona uma rede SDN, devemos primeiro perceber como funciona uma rede de computadores tradicional. Ou seja, perceber que o plano de controlo e de dados está embebido no *firmware* em qualquer dos equipamentos, sendo eles *switches*, *routers*, pontos de acesso, entre outros.

Desta forma, com o desenvolvimento das redes SDN, foi possível separar claramente o plano de dados do plano de controlo, isto é, foi possível centralizar a gestão (plano de controlo) dos equipamentos num único lugar, e assim centralizar a visão global da rede num único componente, designado como controlador SDN [42]. Por sua vez, as camadas inferiores associadas aos *routers* e *switches* são responsáveis pelo encaminhamento do tráfego (plano de dados), funcionando separadamente em cada um dos respetivos equipamentos de rede.

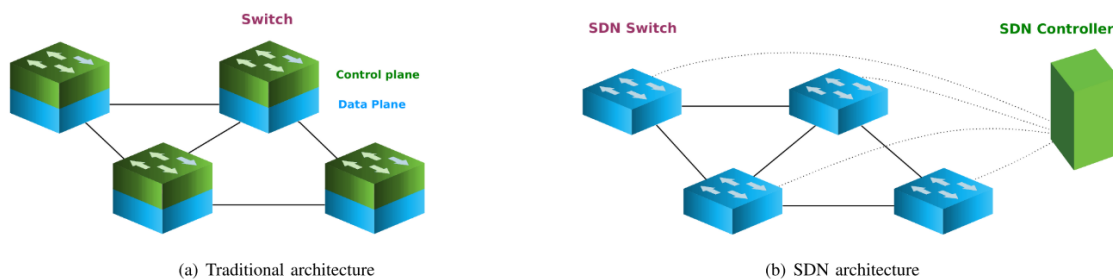


Figura 2.10: Arquitetura Tradicional versus SDN [43]

A arquitetura da tecnologia de Rede SDN pode ser caracterizada por assentar nos seguintes pilares [44, 45]:

1. Separação do plano de dados do plano de controlo e assim a respetiva eliminação da funcionalidade de controlo dos dispositivos de rede, passando a ser simples elementos de reencaminhamento de pacotes;
2. As decisões de encaminhamento do tráfego são baseadas em fluxos (*flow*), em vez de serem baseadas no destino. No contexto das redes SDN um fluxo (*flow*) é uma sequência de pacotes transmitidos entre uma origem e um destino;
3. A lógica de controlo, passa a estar centralizada, numa entidade externa, isto é, no controlador SDN. O controlador consiste numa plataforma de software (*NOS* – *Network Operating System*) que fornece os recursos e abstrações fundamentais para a programação dos equipamentos de encaminhamento;
4. A rede é programável, através de aplicações de software que correm sobre o controlador e interagindo com os dispositivos físicos. Sendo esta a principal característica das redes SDN.

### 2.4.1 Arquitetura SDN

As redes definidas por software (SDN) representam uma arquitetura de rede muito auspiciosa onde se concilia a gestão centralizada e a programação de rede, pois permitem a utilização de controladores externos [46].

Por sua vez, o paradigma das redes SDN centra-se numa arquitetura de rede que separa o plano de controlo do plano de encaminhamento (plano de dados), permitindo ainda a gestão de rede ficar toda concentrada num único ponto, chamado de controlador, que desta forma pode ser programado e é utilizado como o cérebro da rede [47].

O paradigma das redes SDN surgiu com o objetivo (intuito) de melhorar a utilização de recursos da rede, facilitar (simplificar) a sua gestão, reduzir os custos e promover a inovação das redes de computadores [47].

De acordo com as figuras abaixo (Figura 2.11 e Figura 2.12), a arquitetura das redes SDN pode ser dividida em três planos: o plano de dados, o plano de controlo e o plano de gestão. Assim, o plano de dados, também designado por *Infrastructure Layer*, é constituído por duas camadas, pela infraestrutura de rede e por uma interface designada por *Southbound Interface*. O plano de controlo, podendo ser designado também de *Control Layer* é estruturado em três camadas, nomeadamente, pelo *Hypervisor* da rede, pelo controlador (pode ser um ou mais controladores) da rede e pela *Northbound Interface*. Por ultimo temos o plano de gestão, também designado por *Application Layer*, que se encontra organizado em três camadas, sendo elas a das aplicações de rede, a das linguagens e abordagens utilizadas na virtualização e a das linguagens de programação [47].

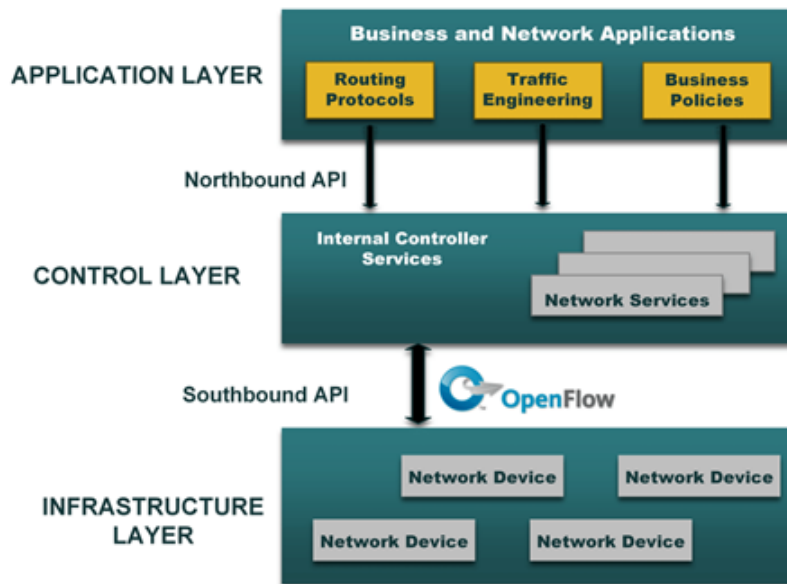


Figura 2.11: Camadas da Arquitetura SDN [48]

Desta maneira, o controlo fica centralizado num único elemento, o controlador. Podemos encarar a arquitetura das redes SDN, em que temos o controlador, como ponto centralizado da inteligência da rede, sendo o responsável por garantir a comunicação entre os *routers* e os *switches* e as aplicações ou lógicas que controlam a operação da rede [42].

De forma ao controlador conseguir comunicar com a camada superior, utiliza as denominadas *Northbound Interfaces*. Estas interfaces vão permitir ao programador programar a rede e controlá-la/geri-la, tendo em vista um determinado objetivo associado à aplicação

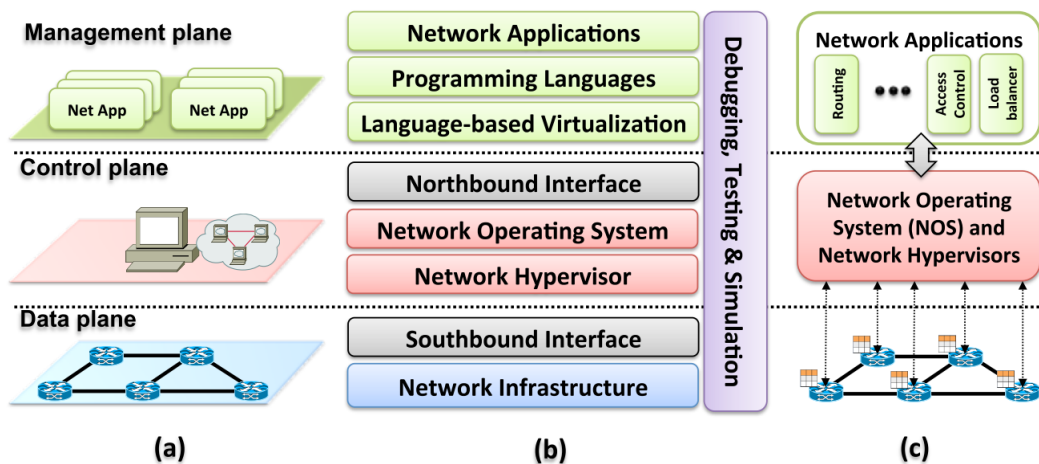


Figura 2.12: Arquitetura SDN dividida em a) Planos b) Camadas e c) Design [44, 49]

em causa. Outro componente também importante nas SDN são as *Southbound Interfaces*, pois estas são responsáveis pelas interações com a camada inferior. Esta interface permite ao controlador definir o comportamento dos equipamentos de rede [42]. De acordo com [42], “Atualmente, a interface mais difundida utiliza o protocolo *OpenFlow*” .

#### 2.4.1.1 Camada 1 - Infraestrutura

Esta camada caracteriza-se pelo facto dos elementos físicos serem apenas dispositivos de encaminhamento, o que significa que são diferentes dos equipamentos de rede tradicionais, pois não tem incorporado nenhum tipo de sistema de controlo. No seguimento desta filosofia, as redes são construídas sobre interfaces padrões e de código aberto, como é o caso do *OpenFlow*, permitindo assim a compatibilidade quer a nível de configuração, quer a nível da comunicação entre os diversos tipos de dispositivos de encaminhamento de dados e de controlo. O princípio de funcionamento deste dispositivos consiste num pipeline de tabelas de fluxo, onde cada uma das tabelas encontra-se dividida em três partes e agrupadas da seguinte forma: regras de correspondência (*rules*), ações (*action*) a serem executadas em caso de correspondência do pacote enviado e contadores (*stats*) que são responsáveis por medir a estatística do fluxo e que assim informam o numero de pacotes e o tamanho da transmissão. Estas equivalências podem ser obtidas através de diferentes campos, como por exemplo a porta do *switch*, o endereço MAC (*Media Access*

*Control*) de origem ou de destino, entre outros [44].

As regras de fluxo do *OpenFlow* tem um caminho predefinido a ser percorrido. Isto é, quando um pacote chega, este inicia um processo de análise das tabelas de fluxo existentes de forma a encontrar uma combinação. O respetivo processo termina quando for encontrada uma correspondência ou quando todas as tabelas tenham sido analisadas. Na situação de não existir uma regra definida para este pacote, este pode seguir umas das seguintes ações, ser descartado ou ser encaminhado para o controlador, dependendo assim da opção definida por padrão que foi configurada. Assim, várias ações também podem ser tomadas de acordo com o estado do pacote, tais como: enviar para uma porta de saída, ser descartado, saltar para a próxima tabela de fluxo ou ainda ser encaminhado para tabelas especiais - estas são as ações mais comuns [44, 50].

#### **2.4.1.2 Camada 2 - Southbound Interface**

A *Southbound Interface* ou *API's Southbound* é responsável por efetuar a comunicação entre o Plano de Dados e o Plano de Controlo, sendo por isso um instrumento fundamental na sua operação. A *Interface Southbound* que se encontra mais amplamente implementada nas redes SDN consiste na utilização do protocolo *OpenFlow*, permitindo dessa forma a interoperabilidade de diferentes fornecedores dos equipamentos de rede. Através das especificações do protocolo *OpenFlow* é possível efetuar a configuração dos dispositivos de encaminhamento e a implementação de um canal de comunicação entre esses mesmos equipamentos e o(s) controlador(es) [44].

#### **2.4.1.3 Camada 3 - Hypervisor da Rede (Network Hypervisor)**

Os *hypervisors* são utilizados em redes que possuem grande parte dos seus dispositivos alocados em máquinas virtuais, isto é, virtualizados. Desta forma permite que diferentes máquinas partilhem os mesmos recursos. Um exemplo disto é a infraestrutura da *cloud*, onde cada utilizador tem os seus próprios recursos virtuais, mas esses são disponibilizados a partir de um único espaço de armazenamento [44].

Assim, pode-se afirmar que a principal característica das tecnologias de virtualização

consiste na possibilidade de migrar facilmente máquinas virtuais de um servidor físico para outro, possibilitando desta forma uma gestão mais fácil e flexível dos serviços [47].

Numa rede SDN, o *hypervisor* tem como principal objetivo permitir a execução sequencial ou paralela de aplicações desenvolvidas com diferentes linguagens de programação ou desenvolvidas para as mais variadas plataformas de controlo [47].

#### **2.4.1.4 Camada 4 - Sistema Operativo de Rede (Network Operating System)**

Nos ambientes de redes tradicionais, a gestão e a configuração do sistema é feita utilizando linguagem de baixo nível, isto é, através de um conjunto de instruções específicas e sistemas de redes proprietários fechadas, variando em função dos fabricantes de equipamentos. A ideia de sistemas abstratos é inexistente, por isso os administradores de redes precisam de lidar com protocolos de *routing* com algoritmos complexos [44].

A utilização da tecnologia de rede SDN facilita a administração, centralizando a gestão lógica da rede com o uso do NOS. Assim, o NOS disponibiliza serviços essenciais como: informação a cerca da tipologia de rede e seu estado, descoberta de novos dispositivos e configuração de redes distribuídas, sendo este um dos principais pontos das redes SDN [51].

#### **2.4.1.5 Camada 5 - Northbound Interface**

A *Northbound Interface*, ao contrário da *Southbound Interface*, é considerada um sistema em aberto, dado que ainda se encontra em fase de desenvolvimento, e não existe ainda uma solução standard. Torna-se importante para a evolução das redes SDN que, quando surgir uma API standard, esta seja capaz de conter uma abstração que permita o funcionamento das aplicações de rede que pedem requisitos diferentes. Quer isto dizer que, por exemplo, uma API referente a *routing* seja diferentes em aplicações de segurança. Em suma, a *Northbound Interface* deve garantir como principais características a portabilidade e interoperabilidade entre diferentes controladores [44].

#### **2.4.1.6 Camada 6 - Virtualização Baseada em Programação**

As técnicas de virtualização possuem dois objetivos: modularidade e níveis de abstração. Estas técnicas possibilitam simplificar o desenvolvimento e a implementação de aplicações de rede, uma vez que permitem “visualizar” diferentes perspectivas de uma mesma estrutura física, simplificando assim as tarefas dos programadores de aplicações, já que estes deixam de se preocupar com os pequenos detalhes [44].

#### **2.4.1.7 Camada 7 - Linguagens de Programação**

Assim como no desenvolvimento de aplicações de uma forma geral, as linguagens de programação de redes informáticas, também evoluíram, Ou seja, passou-se de linguagens máquina de baixo nível para linguagens de programação de alto nível, já que era gasto mais tempo em pequenos detalhes de desenvolvimento do que a solucionar os problemas. Uma das principais vantagens, é a reutilização de código existente no desenvolvimento de novos projetos [44].

As linguagens de programação podem ser utilizadas para diferentes finalidades, das quais se destacam a gestão de criação e de configuração de regras, a atualização de contadores e a escrita de programas para topologias virtuais. Sendo, por isso, uma linguagem semelhante à programação orientada a objetos [52].

#### **2.4.1.8 Camada 8 - Aplicações de Rede**

As aplicações de rede podem ser vistas como sendo o cérebro da rede, pois são responsáveis pela implementação do controlo lógico. As aplicações enviam comandos que são executados ao nível do plano de dados, determinando assim o comportamento dos equipamentos de reencaminhamento [44, 50].

Estas aplicações consistem em garantir desde as tradicionais funcionalidades de *routing*, balanceamento de carga, execução de políticas de grupo, e, integradas nas SDN, novas abordagens, como a redução do consumo de energia, *failover* [53], a virtualização de rede, a imposição de QoS ponto a ponto e a gestão de mobilidade em redes sem fios. Esta

diversificação de aplicações de rede, pode ser dividida em cinco categorias: engenharia de tráfego, mobilidade e redes sem fios, medição e monitorização, segurança e confiabilidade e redes de centro de dados [44].

### 2.4.2 Eastbound / Westbound Interface

Quer a *Eastbound interface* [54], quer a *Westbound interface* [55], têm como principal missão a comunicação entre os diferentes controladores SDN. As interações entre controladores vai permitir a partilha de informações dentro de uma rede SDN através da interface *Westbound / Eastbound*, podendo também serem utilizadas para a comunicação servidor-servidor ou servidor-controlador [56]. Num sistema distribuído, isto é, num cenário onde a rede é gerida por múltiplos controladores existe a necessidade de utilizar estas interfaces (Figura 2.13). O controlador SDN pode ser implementado de forma distribuída (Figura 2.13), ou seja podem existir vários controladores, sendo geridos como se fossem um único controlador, em que as alterações em um deles é replicada pelos outros [44, 49].

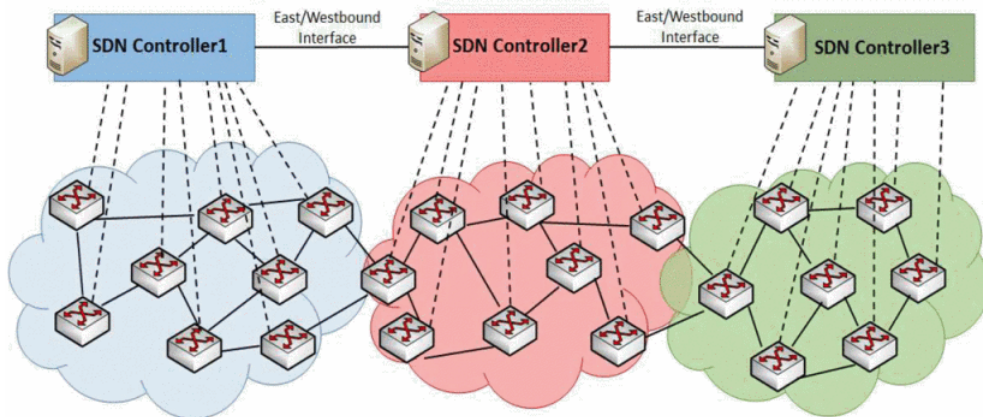


Figura 2.13: Implementação de controlador SDN distribuído. [57]

A principal função destas interfaces consiste em permitir a possibilidade de ativar mecanismos de replicação de dados, permitindo assim o aumento da robustez numa rede SDN em caso de falha do controlador. Estas interfaces têm como outras funções a importação /



exportação de dados, notificações, monitorização e implementação de algoritmos de consistência entre controladores [44].

### 2.4.3 Controlador SDN

Na arquitetura das redes SDN, o controlador é responsável por toda a lógica do controlo que as aplicações (do plano de gestão) disponibilizam. O controlador SDN gere as configurações da rede baseadas nas políticas definidas pelo administrador. Assim sendo, pode-se afirmar que é através deste elemento que toda a rede centraliza a sua operação e formação. Isto significa que o controlador é o elemento mais crítico numa rede SDN, pelo que a sua implementação deve ser bastante cuidada de forma a permitir uma grande disponibilidade de todos os dados que o controlador recolhe na rede e de todos os recursos que o controlador disponibiliza às aplicações [47] e [49].

Um controlador consiste em um software, que é instalado num servidor de elevada capacidade de processamento, e que disponibiliza diversas interfaces de comunicação com a camada de infraestrutura e com a camada de aplicação [49].

### 2.4.4 Protocolo OpenFlow

O protocolo *OpenFlow* é um projeto *open source* desenvolvido pela Open Networking Foundation (ONF) criado no ano de 2008 [58], sendo a primeira versão do protocolo datada do ano de 2009 [59]. Este foi um dos primeiros protocolos a ser adotado pelas redes SDN. Este protocolo tem como principal característica centralizar o controlo da tabela de fluxos em dispositivos de comutação (*switches*) para um controlador programável externo e flexível [46].

O Protocolo *OpenFlow* é responsável por permitir aos controladores determinar e verificar o caminho dos pacotes de rede até ao destino, numa rede constituída por switches. Um dos seus principais atributos consiste em permitir que múltiplos equipamentos de rede, de marcas diferentes, possam ser geridos por um único protocolo de código aberto [42, 46].

Os *switches OpenFlow* são capazes de comutar os pacotes utilizando as regras estabelecidas nas tabelas de fluxo, onde estas foram configuradas pelo controlador [42].

#### 2.4.4.1 Funcionamento do OpenFlow

O *OpenFlow* é constituído por três componentes, o *switch OpenFlow*, o controlador *OpenFlow* e o canal de comunicação seguro *OpenFlow*. Estes componentes, em conjunto, são responsáveis por exercerem as funções necessárias para o funcionamento das redes SDN [60].

A comunicação estabelecida entre o controlador e os *switches/routers*, tanto físicos como virtuais, recorre à utilização do protocolo OpenFlow, que, por sua vez, utiliza uma interface externa para a troca de mensagens. Esta ligação é feita utilizando um canal seguro, recorrendo ao protocolo *Secure Sockets Layer (SSL)*, possibilitando dessa forma a troca de informação de forma segura. Por sua vez, o controlador é responsável por fazer fluir o tráfego de rede, podendo para tal adicionar, remover e atualizar as entradas (rotas) de encaminhamento (*switching*) associadas a um ou mais fluxos de dados da rede [42, 46]. O Controlador *OpenFlow* define as regras utilizadas pelo plano de controlo. Enquanto o *switch OpenFlow* tem a função de encaminhar o tráfego na rede.

Um *switch OpenFlow* compreende uma ou mais tabelas de fluxo (*flow table*), uma tabela de grupo (*group table*) e um ou mais canais *OpenFlow* (*OpenFlow channel*) para um controlador externo (Figura 2.14).

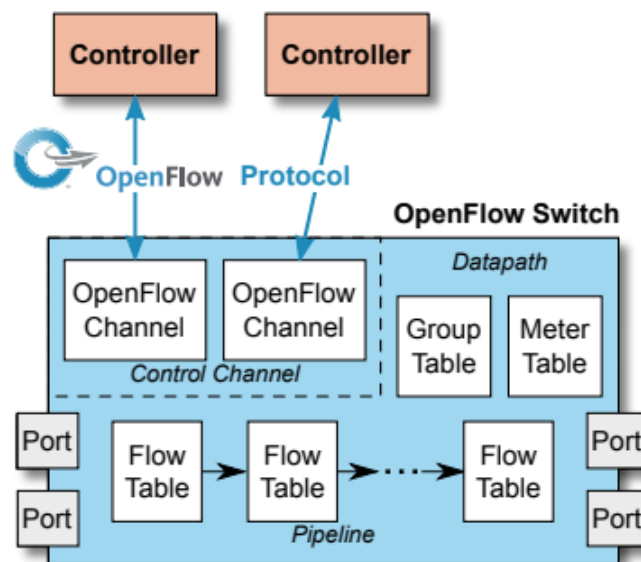


Figura 2.14: Componentes do *Switch OpenFlow* [61].

Nos *routers* tradicionais o encaminhamento de pacotes e as decisões de encaminha-

mento ocorrem num único equipamento, enquanto que num *switch OpenFlow* a comutação de pacotes permanece no *switch* mas as decisões de encaminhamento são da responsabilidade do controlador.

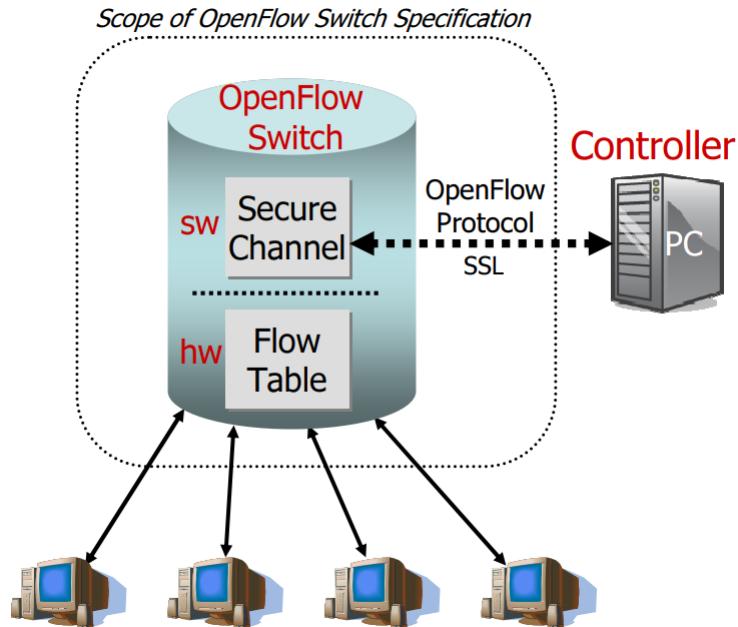


Figura 2.15: *Switch OpenFlow* idealizado. A Tabela de Fluxo é controlada por um controlador remoto através do Canal Seguro [62]

Os *switches* operam maioritariamente num fluxo de dados e não tanto em pacotes IP (*Internet Protocol*) individuais. Analisam se o cabeçalho do pacote que receberam coincide com as entradas da tabela de fluxo e, em caso afirmativo, as ações são invocadas. Caso contrário o pacote é reencaminhado novamente para o controlador *OpenFlow* [46].

As possíveis ações são [46]:

- Enviar para uma porta de saída específica;
- Modificar / adicionar / remover o cabeçalho do pacote;
- Enviar um pacote para a fila de prioridade.

Sempre que um *switch OpenFlow* recebe um fluxo, com origem no controlador, constrói uma tabela de fluxos e sempre que recebe um pacote verifica essa tabela [46]. Uma vez o fluxo identificado pelo *switch*, as ações são executadas sequencialmente, conforme ilustrado na Figura 2.16 [46].

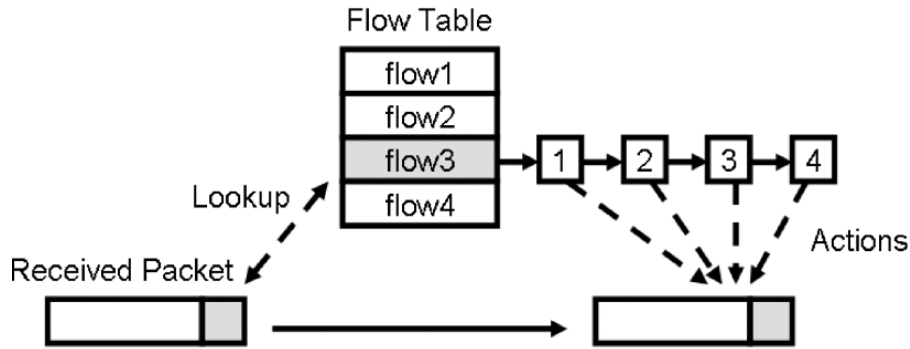


Figura 2.16: Identificação do fluxo pelo *switch* e execução das ações [46]

#### 2.4.4.2 Encaminhamento de Pacotes

A melhor forma de encaminhar pacotes numa rede *OpenFlow* é enviar esses pacotes para o controlador. Para isso, não é preciso que o controlador manuseie a tabela de fluxos de um *switch*, pois para tal, basta indicar ao *switch* que redirecione, todos os pacotes para o controlador, por defeito. Mas, por sua vez esta decisão vai provocar uma sobrecarga no controlador. A solução para este problema pode passar por redirecionar o primeiro pacote de fluxo para o controlador e deixando assim este decidir qual a ação / decisão que deve ser tomada. Uma vez decidida ação e a mesma ter sido adicionada a entrada de fluxo na respetiva tabela do *switch*, todos os pacotes relativos a esse fluxo são rapidamente processados, pois a tabela de fluxo pertence ao *switch* e não ao controlador [46].

##### 2.4.4.2.1 Controlador OpenFlow

Conforme mencionado anteriormente, o controlador *OpenFlow* estabelece comunicações com os *switches OpenFlow*, através de canais seguros, usando esse canal para trocar alguns comandos, e receber os pacotes enviados por um *switch* que não conseguiu lidar com esses pacotes.

Em sùmula, o controlador serve para adicionar ou remover entradas nas tabelas de fluxo de todos os *switches* que se encontram ligados ao controlador. No âmbito das redes SDN, foram desenvolvidos vários tipos de controladores, sendo o estilo de desenvolvimento

desses controladores e as funcionalidades que eles oferecem determinados, numa grande parte, pela linguagem de programação em que foram desenvolvidos.

#### 2.4.4.2.2 Tabelas de Fluxo

As tabelas de fluxo são usadas para o encaminhamento de tráfego, pois são essas tabelas que definem como tráfego deve ser tratado quando chega a um *switch* [60, 63].

A tabela de fluxo de um dispositivo de encaminhamento *OpenFlow*, é constituída pelo seguinte conjunto de parâmetros: regras, ações e contadores estatísticos [64], conforme pode ser observado na Figura 2.17.

Uma regra é definida com base na definição do valor de um ou mais campos do cabeçalho do pacote. É com base nesta informação que é determinado o fluxo [60].

Existem 12 campos que podem ser utilizados no cabeçalho, tal como mostra a Figura 2.17. O que significa que um fluxo pode ser identificado através da combinação desses campos, que pertencem a diferentes camadas do modelo TCP/IP, tais como a camada de transporte, a camada de rede ou a camada de ligação de dados [60, 64].

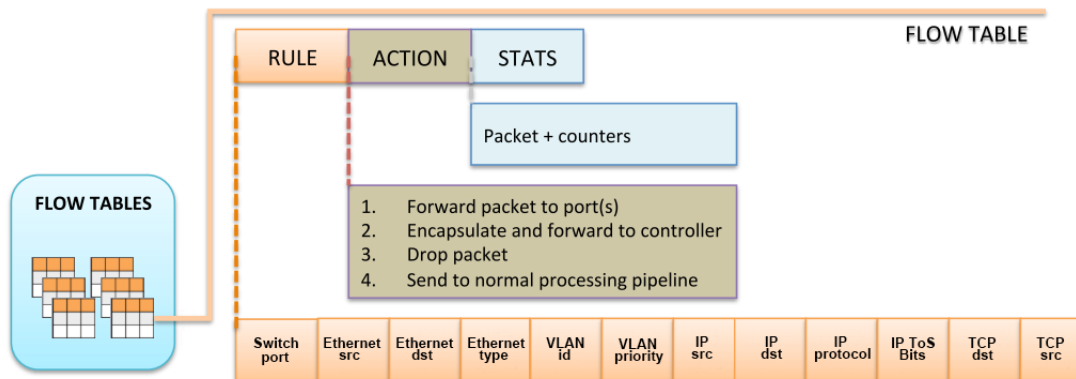


Figura 2.17: Tabela de Fluxo, adaptado a partir de [1, 44]

O processo de correspondência ” (*matching*)” inicia-se na primeira tabela de fluxo, podendo estender-se pelas tabelas seguintes de fluxo. Se não existir uma entrada que faça correspondência com o pacote a ser tratado, este pode ser enviado para a tabela seguinte, pode ser descartado ou pode ser reencaminhado para o controlador. Enquanto que o pacote não chegar à última tabela, todo o processo anterior é repetido. Assim quando existe correspondência do pacote, com uma entrada da tabela de fluxo, pode acontecer uma das

seguintes ações [47]:

1. Encaminhamento para uma determinada interface de saída;
2. Encapsulamento e reencaminhamento para o controlador;
3. Descartado;
4. Enviado para a próxima tabela de fluxo através do processo.

Match Fields	Priority	Counters	Instructions	Timeouts	Cookie	Flags
--------------	----------	----------	--------------	----------	--------	-------

Figura 2.18: Principais componentes de uma entrada de fluxo [61]

Cada fluxo é constituído pelos seguintes campos [61] (Figura 2.18):

- **Match fields:** Dados que serão comparados e combinados com os pacotes;
- **Priority:** Prioridade da entrada de fluxo nas tabelas de fluxo;
- **Counters:** são incrementados sempre que os pacotes são correspondidos às entradas das tabelas de fluxo;
- **Instructions:** são utilizadas para modificar um conjunto de ações ou a sequência de processamento;
- **Timeouts:** indica o tempo máximo antes que um fluxo seja considerado expirado pelo switch;
- **Cookie:** valor de dados escolhidos pelo contador, que pode ser utilizado para filtrar estatísticas, modificações de fluxo e solicitações de exclusão de fluxos. Este campo não é utilizado no processamento de pacotes;
- **Flags:** servem para alterar a forma como as entradas de fluxo são geridas.

Uma entrada de fluxo é identificada pelo seu "*match field*" e pelo campo "*priority*". Estes dois campos, em conjunto, identificam uma entrada na tabela de fluxo[63].

As tabelas de fluxo são identificadas pela existência de um identificador designado por *table ID* [49]. É através desta tabela que o *switch* executa o encaminhamento de pacotes. O controlador é responsável por atualizar as entradas das tabelas de fluxo [65].

#### 2.4.4.2.2.1 Correspondência de Pacotes

Quando um pacote dá entrada num *switch OpenFlow*, este é analisado e submetido a uma tentativa de correspondência (*matching*) nas tabelas de fluxo presentes no *switch*. A procura de correspondência é feita através da comparação de cada pacote com cada entrada de fluxo (*flow entry*) presente nas tabelas de fluxo e respeitando as prioridades presentes na tabela. Existe correspondência entre um pacote e uma entrada de fluxo sempre que os parâmetros de um dado pacote possuem os mesmos dados presentes no campo *match fields* de um fluxo. Na coincidência de existirem duas entradas de fluxo com *match fields* que correspondam ao pacote, esta será correspondida com a entrada de fluxo que tem maior prioridade [49, 61].

#### 2.4.4.2.2.2 Falhas de Correspondência

Todas as tabelas de fluxo por defeito têm de suportar falhas de correspondência. Uma falha de correspondência é designada de *table-miss*. Por sua vez, uma entrada de *table-miss* presente numa tabela de fluxo deverá ser a entrada menos prioritária, com o campo *match fields* a aceitar qualquer valor e deverá ainda enviar uma mensagem ao controlador a solicitar uma atualização as suas tabelas de fluxo. Só depois de efetuada esta atualização é que será possível determinar qual será o destino de um pacote com uma entrada *table-miss*. Sempre que o *switch OpenFlow* não possuir uma entrada de *table-miss*, este deve descartar o pacote recebido, uma vez que não é possível obter uma correspondência com qualquer uma das entradas de fluxo [49, 61].

#### 2.4.4.2.3 Instruções

Quando um *switch OpenFlow* efetua uma correspondência entre um pacote e uma entrada de fluxo, deverá executar o conjunto de lista de ações presentes nessa entrada de

fluxo. Uma instrução pode alterar a maneira como um pacote é tratado dentro da tabela de fluxo. De acordo com a Figura 2.18, os fluxos são caracterizados também pelas suas instruções [49].

As instruções podem ser dos seguintes tipos [61]:

- ***Apply-Actions***: Aplica de imediato um conjunto de ações. Esta instrução serve para alterar pacotes entre duas tabelas ou realizar ações múltiplas do mesmo tipo;
- ***Clear Actions***: Remove todas as ações da lista de ações;
- ***Write Actions***: Junta novas ações à presente lista de ações. Caso exista alguma ação do mesmo tipo, este comando fará com que se sobreponha à ação, caso contrário adicionará a ação a lista de ações a executar;
- ***Stat-Trigger***: Gera um evento para o controlador caso alguma estatística de determinada entrada de fluxo ultrapasse o patamar definido;
- ***Goto – Table***: Indica a próxima tabela para a qual o pacote deve ser encaminhado. O ID da nova tabela deverá ser superior ao da tabela atual. Esta instrução deve ser suportada por todas tabelas de fluxo, exceto a última.

#### 2.4.4.2.4 Ações

Cada entrada de fluxo inclui um conjunto de ações que são executadas quando um pacote corresponde a uma entrada de fluxo. Um conjunto de ações pode determinar a execução de diversas ações de vários tipos.

A lista de ações presente numa instrução do tipo *Apply-Actions* inclui uma certa ordem de precedências ao nível das ações que podem ser executadas. A lista implica a seguinte precedência entre ações [61]:

- ***Copy TTL Inwards***: Copia o TTL (*Time-to-Live*) do cabeçalho mais interior de um pacote para o cabeçalho mais exterior;
- ***Pop***: Remove um *tag* de um pacote;
- ***Push-MPLS***: Aplica uma *tag* MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) ao pacote;



Portas Reservadas		
Obrigatórias	ALL	Envia o pacote para todas as interfaces, exceto a interface de entrada.
	CONTROLLER	Envia o pacote para o controlador.
	IN PORT	Representa a porta de entrada de um pacote.
Opcionais	NORMAL	Processa o pacote utilizando um encaminhamento tradicional.
	FLOOD	Envia o pacote para todas as portas, exceto para a porta de entrada.

Tabela 2.2: Portas Reservadas de um *Switch OpenFlow*[46]

- **Push-PBB:** Aplica uma *tag* PBB (*Provider Backbone Bridge*) ao pacote;
- **Push-VLAN:** Aplica uma *tag* VLAN (*Virtual Local Area Network*) ao pacote;
- **Copy TTL Outwards:** Copia o TTL do cabeçalho mais exterior de um pacote para o cabeçalho mais interior;
- **Decrement TTL:** Decrementa o TTL de um pacote;
- **Set:** Aplica um ação do tipo *set-field*;
- **Qos:** Aplica ações de QoS como por exemplo *meter* e *set-queue*;
- **Group:** Aplica ações presentes num determinado *group bucket*;
- **Output:** Se não existe nenhuma ação de *group* específica, encaminhar o pacote para a porta de saída específica pela ação de *output*.\*

As precedências indicadas anteriormente são referentes à versão 1.5.1 do *OpenFlow*. Em cada nova versão do protocolo *OpenFlow*, é introduzida uma maior complexidade no que diz respeito à quantidade de ações disponíveis a executar através de um fluxo.

\*O *switch OpenFlow* suporta encaminhamento para portas físicas, lógicas ou reservadas. Na Tabela 2.2 são indicadas as portas reservadas mais comuns.

#### 2.4.4.2.5 Tabela de Grupo

O *OpenFlow* utiliza entradas de fluxo como uma forma de combinar os pacotes com os fluxos correspondentes e especificar uma ação para os pacotes que chegam via interfaces

lógicas. A ação determinada em uma ou mais entradas de fluxo pode direcionar os pacotes para uma tabela de grupo. O objetivo do grupo consiste em permitir processar mais rapidamente os pacotes e desta forma atribuir uma ação de encaminhamento específica para eles [63].

Uma tabela de grupo tem como missão disponibilizar métodos de encaminhamento adicionais, com base na capacidade que um fluxo tem de poder apontar para diferentes tabelas de grupo. A Figura 2.19 ilustra os campos que constituem uma tabela de grupo [49].

Cada grupo recebe pacotes como entrada e realiza operações *OpenFlow* com esses pacotes. Um grupo não é capaz de realizar instruções, isto é, não pode enviar um pacote para outras tabelas de fluxo. Quando chega à tabela de grupo, os pacotes já foram devidamente tratados pelas tabelas de fluxo, ou seja, já foram feitas as correspondências com as entradas existentes. Os grupos são apenas mecanismos para realizar ações ou conjuntos de ações mais específicas [63].

Um grupo é constituído por listas de ações separadas e cada lista é designada por *bucket*. Assim, um grupo contém uma *bucket list*, ou seja, uma lista de ações. Cada *bucket* ou *bucket list* é constituída por um conjunto de ações a serem aplicadas na porta de saída do *switch*. Alguns tipos de grupo utilizam parâmetros adicionais em conjunto com o *bucket* [63].

Group Identifier	Group Type	Counters	Action Buckets
------------------	------------	----------	----------------

Figura 2.19: Componentes constituem uma tabela de grupo [61]

Cada tabela de grupo possui os seguintes campos [61]:

- ***Group Identifier***: Número inteiro de 32 bits que identifica uma tabela de grupo num switch de forma única;
- ***Group Type***: Determina o tipo de grupo;
- ***Counters***: Atualiza sempre que um pacote é processado por um grupo;
- ***Action Buckets***: Representa um conjunto de listas de ações. Dependendo da

semântica da tabela de grupos, uma tabela de grupos pode ter várias *Action Buckets*.

Referente à característica *group type* estão definidos quatro tipos possíveis [49] e [61]:

- **Indirect:** Executa apenas a lista de ações estabelecida no *action bucket*;
- **All:** Executa todos os *action buckets* existentes no grupo. Este grupo é frequentemente usado para *multicast* ou encaminhamento de *broadcast*. Quando um pacote é recebido, este é clonado para cada um dos *action buckets*, de forma a difundir o pacote para vários *outputs*;
- **Select:** Os pacotes são processados apenas por um *action bucket* previamente escolhido;
- **Fast Failover:** Executa os primeiros cinco *action bucket* que ainda estejam ativos. Cada *action bucket* está relacionado a uma determinada porta ou grupo que controla a sua atividade. Caso contrário, isto é, se não existirem *action buckets* ativos, os pacotes serão descartados.

#### 2.4.4.2.6 Tabelas de Medição

A tabela de medição (*meter table*) consiste num conjunto de entradas de medição que permitem a possibilidade de implementar restrições em determinados fluxos. A tabela de medição pode implementar as seguintes restrições: limites de débito binário, operações de QoS e políticas de análise de tráfego. Por exemplo, a partir das tabelas de medição é possível medir o débito alcançado por cada tipo de pacotes que possuam um determinado campo *DSCP* (*Differentiated Services Code Point*) associado [49].

Qualquer entrada de uma tabela de fluxo mede o débito binário reproduzido pelos pacotes que são correspondidos. Assim, o *switch* pode medir e controlar o débito permitido por cada entrada ou conjunto de entradas de fluxo [49].

A norma prevê a criação de uma tabela de medição que serve para efetuar os registos dos pontos de medição presentes num *switch*. Na Figura 2.20 podemos observar as

caraterísticas que uma entrada de medição (*meter entry*) possui [49].

Meter Identifier	Meter Bands	Counters
------------------	-------------	----------

Figura 2.20: Componentes constituem uma tabela de medição [61]

Cada entrada na tabela de medição possui os seguintes campos [61]:

- ***Meter identifier:*** É um número inteiro de 32bits que identifica de forma única uma entrada na tabela de medição;
- ***Meter band:*** Lista não ordenada de bandas de medição, refere a taxa de transmissão e a forma como a cada pacote deve ser processado;
- ***Counters:*** atualizado quando um pacote que é processado por uma entrada da tabela de medição.

As diferentes entradas de fluxo podem estar ligadas à mesma banda de medição, a diferentes bandas de medição ou podem não estar ligadas a nenhuma banda. Da mesma forma, um pacote pode ser processado por vários pontos de medição de tráfego, enquanto é processado pelas diversas tabelas de fluxo [49].

São as bandas de medição que definem a regra a ser aplicada para que uma medição seja efetuada. A medição pode realizada com base em todos os pacotes de todas as entradas de fluxo. Um pacote só pode ser processado por uma única banda de medição de uma entrada de medição da tabela de medição. Os pacotes correspondidos na tabela de fluxo são medidos pelas entradas da tabela de medição, com base no débito medido é selecionada uma determinada banda [49].

A banda de medição caracteriza-se pelo seu tipo, pelo débito necessário para aplicar a banda, pela granularidade da medição, pelos contadores e ainda por outros argumentos mais específicos. A Figura 2.21 representa os principais componentes de uma banda de medição [49].

Band Type	Rate	Burst	Counters	Type specific arguments
-----------	------	-------	----------	-------------------------

Figura 2.21: Componentes constituem uma banda de medição [61]

Cada banda de medição possui os seguintes campos [61]:

- **Band Type:** Designa ação despoletada por esta banda, caso o débito de determinado fluxo exceda o rate;
- **Rate:** Débito para o qual a banda de medição cumpre a sua função;
- **Burst:** Define a granularidade da banda de medição;
- **Counters:** É atualizado sempre que os pacotes são processados pela banda;
- **Type specific arguments:** Alguns tipos de banda podem ter argumentos específicos.

Existem dois tipos de banda (*band types*), o *drop* que provoca o descarte do pacote, no caso de o débito medido exceder o valor definido pelo campo *rate*. Outro tipo de banda é a *dscp remark*, nesta situação é incrementada a precedência de *drop* no campo DSCP do cabeçalho IP [49, 61].

#### 2.4.4.2.7 Mensagens e Eventos OpenFlow

De acordo com as especificações do *switch OpenFlow*, as mensagens são todas formatadas de acordo com o protocolo *OpenFlow* e são de três tipos (Figura 2.22): *Controller-to-switch*, *Asynchronous* e *Symmetric*. A maior parte dos eventos *OpenFlow* são gerados em resposta a uma mensagem enviada por um *switch*.

As mensagens ***Controller-to-switch*** são iniciadas pelo controlador e são utilizadas para enviar comandos para o *switch* e para recolher informações [61].

A seguir apresentam-se as especificações das mensagens do tipo *controller-to-switch* que têm origem no controlador:

- **Features:** Solicita a identidade e características que o *switch* suporta. Frequentemente utilizado aquando do estabelecimento de um canal de comunicação;

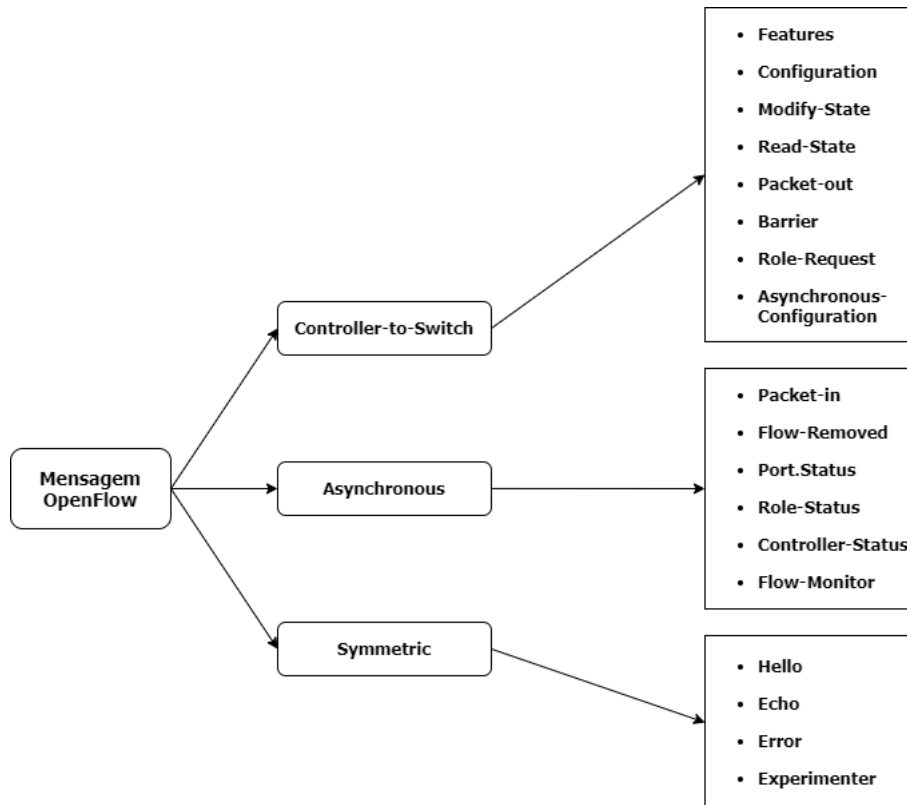


Figura 2.22: Tipo de Mensagens *OpenFlow* [46]

- **Configuration:** Solicita e determina as configurações a um *switch*;
- **Modify-State:** Adiciona, modifica ou remove entradas de fluxo em tabelas de fluxo, grupo ou medição e para definir propriedades de uma porta do *switch*;
- **Read-State:** Utilizado para recolher diversas informações do *switch*, tais como, configuração atual, capacidade do *switch* e estatística;
- **Packet-out:** Usado para especificar qual é a porta de saída que o *switch* tem que utilizar para encaminhar o pacote, inicialmente recebido por uma mensagem *Packet-in*. *Packet-out* pode conter um pacote completo ou um *ID* de *buffer* que faça referência a um pacote armazenado no *switch*. Esta mensagem tem que conter uma lista de ações a serem aplicadas pela ordem em que são especificadas; uma lista vazia de ações descarta o pacote;
- **Barrier:** É utilizado para assegurar que as operações foram concluídas;
- **Role-Request:** Utilizado para identificar o papel de determinado *OpenFlow Channel*;

*nel*. É utilizado quando um *switch* está ligado a vários controladores, quando é necessário distinguir qual é o controlador mestre, dos controladores redundantes;

- ***Asynchronous-Configuration***: Usada para criar filtros em *switches* no que toca à receção de mensagens.

As mensagens ***Asynchronous*** são iniciadas pelo *switch* com o objetivo de atualizar informações relacionadas aos eventos que ocorrem no *switch* e para informar o controlador.

Este tipo de mensagens é originado por um *switch*, sem qualquer aviso ao controlador. Estas mensagens contêm, normalmente, informação sobre alterações num *switch* e podem ser dos seguintes subtipos:

- ***Packet-in***: Mensagem que transfere o controlo de um pacote do *switch* para o controlador. É gerado um evento “*Packet-in*” quando um controlador recebe uma mensagem do *switch*, a indicar que o pacote não teve correspondência com as entradas da tabela de fluxo do *switch*, enviando de novo o pacote para o controlador. Ou então, quando a entrada de fluxo inclui uma ação que indica enviar o pacote para o controlador;
- ***Flow-Removed***: Notifica o controlador que determinada entrada da tabela de fluxo foi removida. As mensagens deste tipo são originadas quer pela expiração de determinada entrada de fluxo na tabela ou pela ordem explícita de remoção por parte do controlador;
- ***Port-Status***: Informa o controlador da alteração do estado de uma porta. Inclui especificações sobre o que despoletou essa alteração quer por alteração da porta ou por falha de sinal na respetiva porta;
- ***Role-Status***: Comunica ao controlador a alteração do seu papel enquanto controlador mestre ou controlador redundante;
- ***Controller-Status***: Informa o controlar no caso de ocorrer alguma alteração do estado do *OpenFlow Channel*. Facilita a comunicação entre controladores caso algum dos canais de comunicação falhe;

- **Flow-Monitor:** Comunica a alteração de uma tabela de fluxo. Um controlador pode definir um conjunto de regras de monitorização sobre determinada tabela num *switch*.

As mensagens *Symmetric* são iniciadas tanto pelo controlador como pelo *switch*. Estas mensagens são sempre enviadas sem serem solicitadas por qualquer uma das partes, isto é, quer por parte do *switch* quer por parte do controlador e podem ser dos seguintes subtipos:

- **Hello:** São trocadas entre o *switch* e o controlador após o estabelecimento da ligação do *OpenFlow Channel*;
- **Echo:** Uma mensagem do tipo “*echo*” espera sempre uma mensagem de resposta do tipo “*reply*”. Esta mensagem por sua vez serve para verificar a ligação, medições de latência ou largura de banda no *OpenFlow Channel*;
- **Error:** Mensagens utilizadas quer pelo controlador, quer pelo *switch* para notificar problemas na ligação. São usadas principalmente pelo *switch* para indicar uma falha de uma solicitação iniciada pelo controlador;
- **Experimenter:** É prevista a possibilidade de serem criadas mensagens para efeito de testes ou criação de novas funcionalidades.

## 2.5 Frameworks SDN

Neste subcapítulo são abordadas uma série de implementações de *Frameworks* que utilizam a tecnologia de rede SDN, nas mais diferentes e variadas situações, das quais se destaca, na indústria 4.0, em redes MPLS, IoT, 5G (rede móvel de 5<sup>a</sup> Geração), no *Blockchain*, no *BigData*, a nível de segurança de rede e entre outras situações.

No artigo [66] é abordado o desenho de uma *Framework* generalizada para redes óticas sem fios OWC (*Optical Wireless Communication*), habilitadas para SDN, e onde são descritas potenciais soluções que podem ser executadas com base na abordagem SDN. A *Framework* SDOWC (*Software Defined Optical Wireless Communication*) apresentada neste



artigo integra diferentes redes OWC, de forma a poder dar resposta à procura e assim melhor a flexibilidade no controlo da rede.

Atualmente, as redes de comunicação, como o 5G, a *cloud*, IoT (*Internet of Things* – Internet das coisas), apresentam cada vez um maior número de utilizadores, aplicações e serviços, altamente distribuídos e com requisitos de comunicação cada vez mais distintos e heterogéneos. Assim, cada vez mais é exigida uma maior alocação de recursos, requerendo soluções dinâmicas, eficientes e personalizáveis, onde os autores do artigo [67], apresentam os modelos de alocação de largura de banda, como sendo uma alternativa para suportar esta nova tendência. Neste artigo é proposta uma *Framework BAMSDN (Bandwidth Allocation Model through Software-Defined Networking)* que consiste na alocação dinâmica de recursos (largura de banda) para redes MPLS (*MultiProtocol Label Switching*), utilizando tecnologia SDN.

A indústria 4.0 apresenta todo um conjunto de novos requisitos para a engenharia de sistemas industriais, com notório impacto na camada de rede, isto é, um dos principais desafios imposto pela indústria 4.0 consiste na flexibilidade operacional necessária a dar suporte a reconfiguração dinâmica de células, estações e máquinas de produção. As redes SDN fornecem esse nível de flexibilidade no domínio geral da rede local, mas, no entanto, a sua aplicação na industrial tem sido prejudicada pela falta de suporte em tempo real. O artigo [68], aborda essas limitações, propondo uma *Framework SDN OpenFlow* de forma a dar resposta a essas necessidades, incluindo serviços em tempo real. Assim são apresentadas melhorias do *OpenFlow* e é desenvolvido um controlador SDN habilitado para RTOF (*Real Time OpenFlow*).

Nos tempos atuais cada vez mais assistimos a notícias que nos dão conta de acesso não autorizado a informações pessoais ou proprietárias. Assim, uma melhor compreensão da integridade das nossas redes de computadores, podem ajudar a identificar anomalias e assim ser possível identificar atividades maliciosas. Neste seguimento, os autores do artigo [69], apresentam uma *Framework* com uma ampla gama de recursos para os administradores utilizarem, bem como uma serie de serviços automatizados. Desta forma possibilitou o desenvolvimento de um serviço que inspeciona um caminho de rede antes e depois do envio de informação confidencial. Depois é feita uma comparação dessa inspeção com o comportamento e padrões de segurança conhecidos para fornecer ao utilizador uma avaliação

de confiabilidade desse caminho de rede específico. Essa avaliação permite ao utilizador decidir se o caminho de rede é seguro o suficiente para enviar a informação pretendida. Nesta pesquisa são sugeridas técnicas para análise de caminhos de rede que podem ser utilizados para a identificação de problemas de rede e assim evitar o roubo de informações por pessoas mal-intencionadas.

Os autores do artigo [70], propõem uma *Framework* SDN para serviços de conectividade. Os objetivos desta *Framework* consistem em permitir a criação e gestão de serviços de rede baseada em *Openflow*, com mecanismos de gestão de falhas, bem como a utilização otimizada da infraestrutura.

No artigo [71], é feito um levantamento de técnicas utilizadas para gestão de rede SDN. Assim, é proposta uma *Framework* para melhorar a gestão de rede para SDN sobre o modelo FCAPS (*Fault* (Falhas), *Configuration* (Configuração), *Accounting* (Contabilidade), *Performance* (Desempenho), *Security* (Segurança)).

Já os autores do artigo [72], propõem uma *Framework* SDN para proteger redes IoT, assim nesta *Framework* temos aplicações SDN para monitorizar os fluxos e configurações, geram listas negras e listas brancas, na rede IoT e analisam os fluxos de pacotes para correlações espaciais, temporais e volumétricas em seus comportamentos, violação de protocolo e assinatura de ataques.

Os autores do artigo [73], desenvolveram uma *Framework* SDN habilitada para *Blockchain* para gestão de segurança em aplicações 5G. Assim, a *Framework* SDN habilitada para *Blockchain* foi desenvolvida para lidar com possíveis vulnerabilidades de segurança que podem manipular o controlo do fluxo de pacotes na rede. O *Blockchain* devido aos seus princípios de design seguro, permite abordar problemas fundamentais de segurança, incluindo consistência, autenticidade, confiabilidade e acessibilidade de forma descentralizada. Assim o esquema de autenticidade proposto permite confiança entre os controladores SDN. Ele pode verificar nós de *Blockchain* automaticamente para detetar acesso não autorizados na arquitetura SDN. Esta *Framework* é projetada para aplicações 5G, onde o *Blockchain* e o SDN podem melhorar o desempenho de aplicações 5G. A *Framework* proposta reforça a segurança e a privacidade dos planos SDN, permitindo assim as aplicações 5G funcionar de forma confiável em várias funcionalidades de rede.

No artigo [74], os autores apresentam métodos e soluções de otimização e gestão de

tráfego de rede SDN / NFV. É efetuada uma análise aos requisitos e cenários de *BigData* e Inteligência Artificial nas redes SDN/ NFV. Desta forma é proposta uma *Framework* para gestão e otimização de tráfego inteligente de rede e analisa casos de prevenção e controlo de congestionamento de rede e otimização de caminhos em toda a rede.

Na pesquisa realizada não foi encontrada nenhuma *Framework* com *roadmap* para integração de redes SDN com IA.

## 2.6 Inteligência Artificial nas Redes Informáticas

Nesta secção é feita uma análise sobre as dificuldades em aplicar técnicas de IA nas redes de computadores tradicionais e o que leva a evoluir para um novo paradigma das redes com tecnologia SDN.

### 2.6.1 Aplicação da IA nas Redes de Computadores Tradicionais

Com o crescimento das aplicações de rede avançadas, tem-se verificado a presença de muitos tipos de dispositivos (ex: *smartphones*, *tablets*, portáteis, entre outros), numa mesma área, que podem partilhar entre eles vários padrões de tráfego de rede [1]. Tal como se tem verificado a atual infraestrutura de rede não tem a capacidade de atender a tais requisitos, sendo por isso necessário uma arquitetura de rede mais flexível e dinâmica. Esta necessidade deu origem às redes SDN. Além disso, devido ao facto de não haver nenhuma forma de controlo centralizado na rede, a configuração dos dispositivos de rede não é consistente, o que provoca falhas, e torna-se também demorada [1]. Por outro lado, as redes convencionais lidam com a gestão distribuída, bem como o processamento que está relacionado à tomada de decisão da rede [1]. Também é necessário adicionar novos requisitos como a qualidade de experiência (QoE) e a qualidade do serviço (QoS), para além de políticas de segurança, numa arquitetura de rede complexa e pouco flexível o que mostra as desvantagens de uma arquitetura antiga [1].

Um dos maiores desafios para aplicar técnicas de ML/IA para controlo e operação da rede deve-se ao facto das rede tradicionais serem sistemas inerentemente distribuídos,

onde cada nó (*router* ou *switch*) apenas pode visualizar e atuar sobre uma pequena área da rede (só consegue ver os nós vizinhos) [25], ao contrário de uma rede SDN onde o plano de controlo está separado do plano de dados e centraliza todo o controlo da rede num único ponto com o conhecimento de toda a rede [75].

### 2.6.2 Aplicação de IA nas Redes SDN

A Inteligência Artificial (IA) começou a desempenhar um papel fundamental na melhoria do desempenho dos sistemas informáticos, por sua vez, sendo que as redes de computadores apresentam a mesma tendência. A Integração das redes SDN com a IA permite uma melhoria na gestão e operação dos vários dispositivos da rede, dado apresentar um conjunto de novos mecanismos para lidar com os problemas [5].

A IA tem ainda uma função importante, pode auxiliar no balanceamento de carga, ou seja, ajuda a minimizar a latência. Sendo por isso possível maximizar a taxa de transferência [5].

Por outro lado, as redes SDN podem também beneficiar dos avanços recentes da IA e assim, beneficiar das capacidades de aprendizagem e melhorar o que se chama de tomada de decisão nas redes SDN [26].

Nos últimos tempos assistimos a uma grande mudança no tradicional tráfego de dados que circulam nas redes de computadores, sendo estes mais exigentes, principalmente devido ao aparecimento do *BigData*, dos *Cloud Computing Services*, que exigem dos *datacenters* e das redes uma maior escalabilidade e flexibilidade [1].

As redes SDN trazem, por isso, novas oportunidades para aplicar e complementar a sua atividade com técnicas de IA, já que permitem uma maior flexibilidade e que a rede seja configurada de forma dinâmica e centralizada. Assim sendo, a gestão centralizada permite ter uma visão global da rede e dessa forma é possível monitorizar e analisar o tráfego em tempo real, os dados de configuração, bem como pacotes e o seu fluxo [25].

Um controlador SDN tem uma visão geral da rede e é capaz de recolher dados da rede, permitindo, dessa forma, a aplicação de algoritmos de ML. Com base nos dados analisados em um histórico, e em tempo real, pode-se associar inteligência ao controlador SDN de forma a realizar um conjunto de análise de dados, que são utilizados para a otimização de

rede e para o fornecimento automatizado de serviços de rede [25]. Os algoritmos de ML são considerados uma das ferramentas de IA mais vantajosas para operações e gestão de redes, devido à sua capacidade de extração de conhecimento de dados [28].

### 2.6.3 Aplicações de Machine Learning nas Redes SDN

Conforme mencionado anteriormente (ver Capítulo 2.2), os algoritmos ML dividem-se em quatro categorias, Aprendizagem supervisionada, Aprendizagem não supervisionada, Aprendizagem semi-supervisionada e Aprendizagem de Reforço. No que diz respeito à Aprendizagem supervisionada, são utilizados os seguintes algoritmos: *K-Nearest Neighbors (KNN)* [76], *Support Vector Machine (SVM)* [77], *Decision Tree (DT)* [78] e *Ensemble Learning* [79] que recorre ao algoritmo *Random Forest (RF)* [80]. O projeto “PREDIS” [81] utiliza o algoritmo computacional KNN, um algoritmo simples e eficiente na deteção de ataques às redes de computadores, para além dos ataques DDoS permite detetar ataques de outros tipos. Em relação ao algoritmo SVM, este é utilizado em diversas situações nas redes SDN, conforme descrito a seguir. Esse algoritmo é muitas vezes utilizado para prever falhas de *link* [82], uma vez que foi desenvolvido de forma a permitir a seleção alternativa de rotas com base na engenharia de tráfego e na gestão centralizada que o plano de controlo permite. Em [83] e [84], está descrita uma plataforma que incorpora o algoritmo SVM no controlador sendo utilizado para detetar ataques DDoS. Já o algoritmo DT tem uma vasta utilização nas mais variadas situações, das quais se destacam as seguintes: classificação de pacotes [85, 86, 87, 88, 89], classificação de fluxos [90, 91] e solução para o problema de congestionamento de tabelas de fluxo [92].

As Aprendizagem em conjunto (*Ensemble Learning*), recorrem à utilização do algoritmo *Random Florest (RF)*. Em [93] os autores utilizam o algoritmo RF para determinar a localização interior com grande precisão do utilizador. Em [94] é proposta a utilização do algoritmo RF para um método de previsão de regressão para modelar com extrema precisão a distribuição de latência de uma NFV (*Network Function Virtualization*) [95].

Na Aprendizagem Não Supervisionada, é normalmente utilizado o algoritmo *K-means* (incluindo as suas diversas variantes), nas seguintes situações: na deteção de anomalias [96], na deteção de ataques DDoS [97], na dedução de regras *OpenFlow* por sondagem

ativa em redes SDN [98] e na resolução do problema de posicionamento do controlador [99, 100, 101, 102].

Também é possível utilizar, em redes SDN, utilizar a conjugação de algoritmos de aprendizagem supervisionada com algoritmos da aprendizagem não supervisionada. De acordo com o estudo descrito no artigo [103], recorre-se às técnicas de *machine learning* uma vez que estas contribuem para uma melhor classificação de tráfego. Neste trabalho, são utilizados dois algoritmos de ML, o algoritmo SVM da categoria de aprendizagem supervisionada e o algoritmo *K-means* da categoria de aprendizagem não supervisionada, para efetuar o estudo de classificação de tráfego.

No trabalho descrito em [90], recorre-se a utilização conjugada de algoritmos de *Machine Learning* com o objetivo de definir políticas de segurança. É utilizado o algoritmo C4.5 [104] da categoria de algoritmos de aprendizagem supervisionada, para identificação de diferentes tipos de tráfego, e recorre-se ao algoritmo *K-means* [105], de aprendizagem não supervisionada, para se conseguir o agrupamento dos diferentes fluxos de tráfego.

O algoritmo *k-means* é um algoritmo de *clusters* e é também considerado um dos mais poderosos e populares algoritmos de *data mining* [105].

Na aprendizagem semi-supervisionada, recorre-se ao algoritmo *Laplacian SVM* [106] para efetuar a classificação de tráfego de dados reais da Internet [107]. Neste artigo, é proposta uma *Framework* de classificação de tráfego com reconhecimento de QoS para redes SDN. Este trabalho tem como principal objetivo a classificação de tráfego, de acordo com os requisitos de QoS, de forma a fornecer informação crucial para a engenharia de tráfego dinâmico e em tempo real.

A Aprendizagem por reforço recorre aos seguintes algoritmos: *Reinforcement Learning (RL)* [108], *Deep Reinforcement Learning (DRL)* [109] e o *Deep Q-Learning (DQL)* [110].

Em [111] recorreu-se à utilização do algoritmo RL, de forma a contribuir para melhorar a resiliência e a escalabilidade de redes SDN. No artigo [112] é abordada a utilização do algoritmo RL, com o objetivo de ajudar o sistema na deteção e mitigação de ataques em redes SDN. Nos trabalhos descritos em [113], [114] e [115] recorre-se à utilização do algoritmo RL, para permitir a seleção do caminho mais eficiente ou para a otimização de rotas em redes SDN.

Nos novos desenvolvimentos sobre RL, tem-se proposto uma combinação com outras

tecnologias, para melhorar o desempenho das redes SDN. Por exemplo, combinando o RL com as Redes Neurais Aleatórias (RNL), permitindo encontrar sobreposição dos rotas utilizando uma sobrecarga mínima para essa monitorização [116].

[117] menciona que o mecanismo de escalonamento não consegue satisfazer as necessidades como a confiabilidade, estabilidade e os recursos dos fornecedores de equipamentos e provedores de serviços. Para solucionar este problema é proposto um mecanismo baseado no algoritmo RL, permitindo dessa forma que os parâmetros sejam cuidadosamente ajustados à medida.

No artigo [118], de modo a melhorar a satisfação dos utilizadores relativamente à experiência com o tráfego multimédia, é proposta uma arquitetura de controlo de tráfego nas redes SDN com base no algoritmo DRL. A utilização deste algoritmo permite apreender diretamente com a experiência, possibilitando que a rede "efetue" decisões rapidamente, contribuindo para uma melhoria significativa no QoE (*Quality of Experience*) do tráfego multimédia.

Em [119] é estudado o algoritmo DQL na implementação de um sistema para a resolução de problemas relacionados com o encaminhamento de dados em *Datacenters* baseados na tecnologia de rede SDN. Assim o DQL é utilizado para definir e obter as melhores rotas de encaminhamento.

## Capítulo 3

# Estado de Maturidade da Utilização das Redes SDN e IA nos Municípios

Com o intuito de perceber qual o cenário da utilização da tecnologia das redes SDN, por parte dos Municípios portugueses, foi elaborado um inquérito, conforme *anexo A*. Esse inquérito é constituído por treze questões e foi dirigido aos serviços informáticos das Autarquias Locais, dos 308 Municípios Portugueses (Portugal Continental e Ilhas dos Açores e da Madeira). Desta forma, conseguiu-se aferir se tinham conhecimento da tecnologia das redes SDN, se utilizam esta mesma tecnologia e quais seriam os benefícios que poderiam ser retirados da integração da tecnologia das redes SDN com a IA, no âmbito da sua atividade.

Este questionário, conforme foi referido anteriormente, é constituído por treze perguntas divididas em cinco grupos. O primeiro grupo é composto por quatro questões, que permitem caracterizar a pessoa inquirida; o segundo grupo é composto por 4 questões tendo sido designado por “redes SDN”. Com este grupo, pretende-se saber se o inquirido conhece a tecnologia SDN ou não. Em caso de conhecer a tecnologia, se utiliza esta tecnologia e em que situações utiliza esta tecnologia nos serviços do seu Município. No caso de não utilizar a tecnologia, esse grupo de questões permite identificar quais os motivos que o levam a não utilizar a tecnologia. No caso de não conhecer a tecnologia de redes



SDN, o questionário avança para o grupo três, onde é feita uma breve explicação sobre essa tecnologia. As questões do grupo 4 tentam perceber sobre os benefícios da utilização da tecnologia SDN e finalmente no quinto, e último grupo, é pedida a opinião e quais as áreas e principais vantagens da integração da IA nas Redes SDN.

Dos 308 Municípios inquiridos, através do envio do questionário por correio eletrónico, responderam 113. Mais dois Municípios responderam ao email, embora não responderam ao inquérito. O Município de Santana, na Ilha da Madeira, informou que não dispõe de serviços informáticos próprios e que é uma empresa privada responsável por prestar serviços de assessoria nesse âmbito. A Autarquia de Palmela também respondeu, via email, informando que atualmente a Câmara Municipal de Palmela não tem disponibilidade nos seus serviços para responder ao preenchimento do referido questionário.

A percentagem de sucesso de respostas ao questionário situa-se aproximadamente nos 37%, o que significa que responderam ao inquérito um pouco mais de um terço dos Municípios inquiridos. Convém referir, no entanto, que este é um valor muito interessante como amostra, e que permite ter um intervalo de confiança de 95% e uma margem de erro inferior a 8%.

As respostas ao questionário foram recolhidas entre o dia 15 de abril e o dia 8 de julho de 2021.

### **3.1 Caracterização Demográfica do Inquérito**

#### **- Questão 1 - Idade?**

Das 113 respostas obtidas, foi possível aferir que os colaboradores que responderam, e que são responsáveis pelos departamentos de informática dos Municípios, estão distribuídos por três grandes grupos de faixas etárias. Assim sendo, obteve-se 27 respostas na faixa etária dos 24 aos 39 anos; o maior percentagem de respostas, com um total de 57, foi dada pelo grupo na faixa etária dos 40 aos 49 anos. Isto permite concluir que mais de 50% dos inquiridos ocupam essa faixa etária; e finalmente na faixa etária dos 50 aos 64 anos obteve-se mais 29 respostas. É possível verificar esta informação na Figura 3.1.

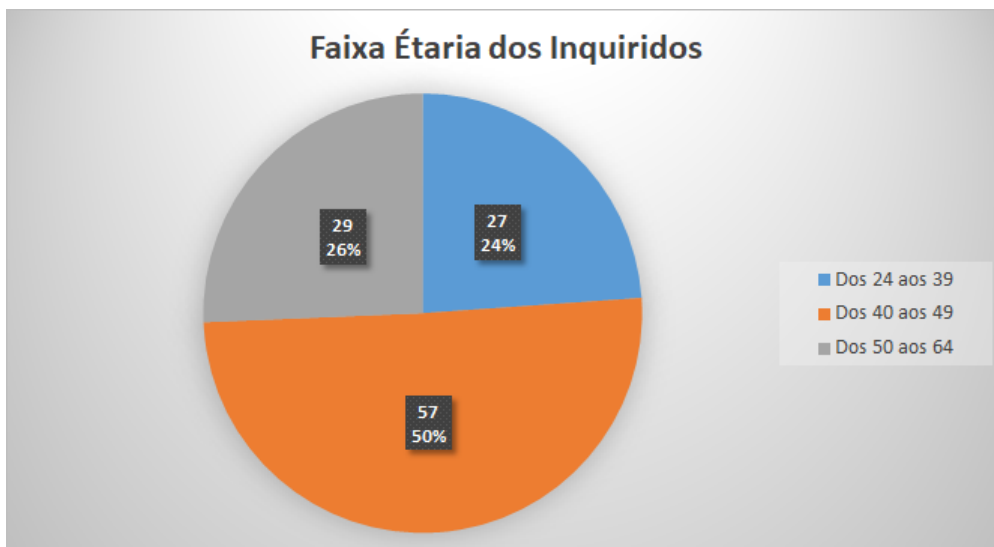


Figura 3.1: Distribuição por Grupo Etário.

#### - Questão 2 - Género?

Analisando as respostas por género, pode-se concluir que a grande maioria dos colaboradores dos serviços de informática, que responderam, são do sexo masculino com 98 respostas, o que corresponde a 87% de respostas e que apenas 13% são elementos do sexo feminino, o que correspondem a um número de 15 colaboradores do sexo feminino que responderam (Figura 3.2).

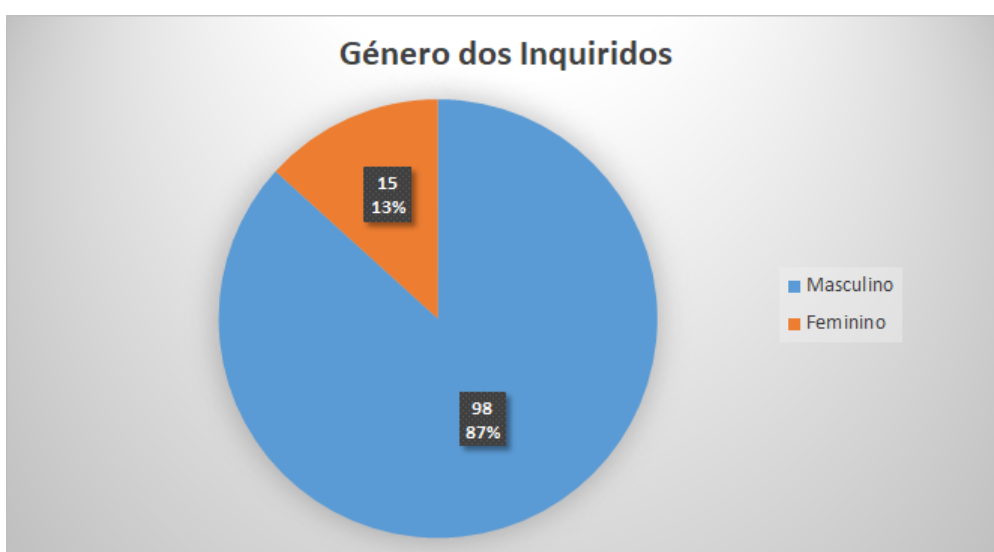


Figura 3.2: Distribuição por Género.

### - **Questão 3 - Localização da Autarquia onde trabalha?**

Se analisarmos as respostas por zonas de Portugal, podemos dividi-las em cinco grupos, que são os seguintes:

- Zona Norte constituída por 125 concelhos divididos pelos seguintes distritos, Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Porto, Bragança, Aveiro, Viseu e Guarda;
- Zona Centro é constituída por 96 concelhos, divididos pelos seguintes distritos, Coimbra, Castelo Branco, Leiria, Santarém, Lisboa e Portalegre;
- Zona Sul é constituída por 57 concelhos distribuídos pelos seguintes distritos, Setúbal, Évora, Beja e Faro;
- Região Autónoma dos Açores e os seus 19 Municípios;
- Região Autónoma da Madeira e os seus 11 Municípios.

Pela análise da tabela 3.1, facilmente se concluí que a zona que mais contribuiu para este inquérito foi a Zona Centro, que apresenta uma taxa de resposta de 46% (correspondendo a uma taxa de sucesso de resposta de 54% dentro da Zona Centro); a segunda Zona que mais contribuiu foi a Zona Norte com uma percentagem de 29%, no entanto a sua taxa de sucesso de resposta desce para os 26%, isto pode ser explicado pelo fato de esta zona albergar um maior número de concelhos e, em contrapartida, a que contribuiu com menos resposta, por zona. Em terceiro lugar vem a Zona Sul, com uma taxa de respostas de 14% do total, sendo que, em contrapartida, esta região é a que tem menos concelhos das zonas de Portugal continental. Assim sendo, se observarmos a participação dos seus respetivos concelhos é possível concluir que teve uma taxa de sucesso com 28% dos municípios que a constituem.

Observando a situação das Regiões Autónomas, rapidamente se conclui que os Açores foi das Zonas onde os Municípios participaram mais na resposta deste inquérito, com menos respostas apenas que a Zona Centro. No entanto, no que diz respeito à participação dos Municípios da Ilha da Madeira, essa foi muito reduzida, tendo respondido ao inquérito apenas duas das Câmaras Municipais dessa Região Autónoma. Em resumo, as Regiões

Zona	N.º Concelhos	N.º Respostas por Concelho	Percentagem de Respostas por Zona	Percentagem de Respostas no Total
Norte	125	33	26%	29%
Centro	96	52	54%	46%
Sul	57	16	28%	14%
Açores	19	10	53%	9%
Madeira	11	2	18%	2%
<b>Total</b>	<b>308</b>	<b>113</b>		<b>37%</b>

Tabela 3.1: Distribuição geográfica das respostas dos inquiridos participantes.

Autónomas representam uma participação de 11% do total de respostas obtidas. O Figura 3.3 apresenta a distribuição das respostas por Zona geográfica.

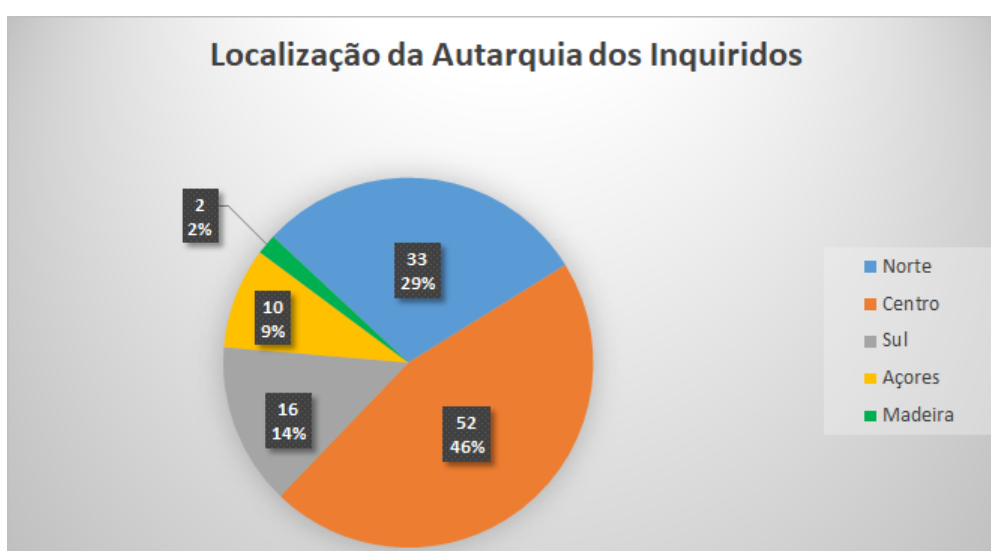


Figura 3.3: Distribuição Geográfica dos Municípios Participantes no Inquérito.

#### - Questão 4 - Tipo de carreira / categoria de que é titular?

Observando agora as respostas relativa à categoria/carreira à qual pertencem os indivíduos que participaram no questionário (ver Figura 3.4), podemos concluir que 50% têm a categoria de "Especialistas de Informática", com 57 respostas. O que significa que esses 57 indivíduos têm formação superior na área da informática. Com 40 respostas, o que representa 35% das respostas, indicaram que são "Técnicos de Informática". Sendo que essa informação significa que têm um curso de formação profissional, ou equivalente,

na área de informática. 11% dos inquiridos responderam que são "Técnicos Superiores", o que representa 12 respostas; 1% referem que são "Assistentes Técnicos" e 3% das respostas responderam na opção "outros". Nesta opção temos um chefe de gabinete, um coordenador de Informática e um estagiário. A categoria de "Assistente Operacional" não foi selecionada por nenhum dos inquiridos.

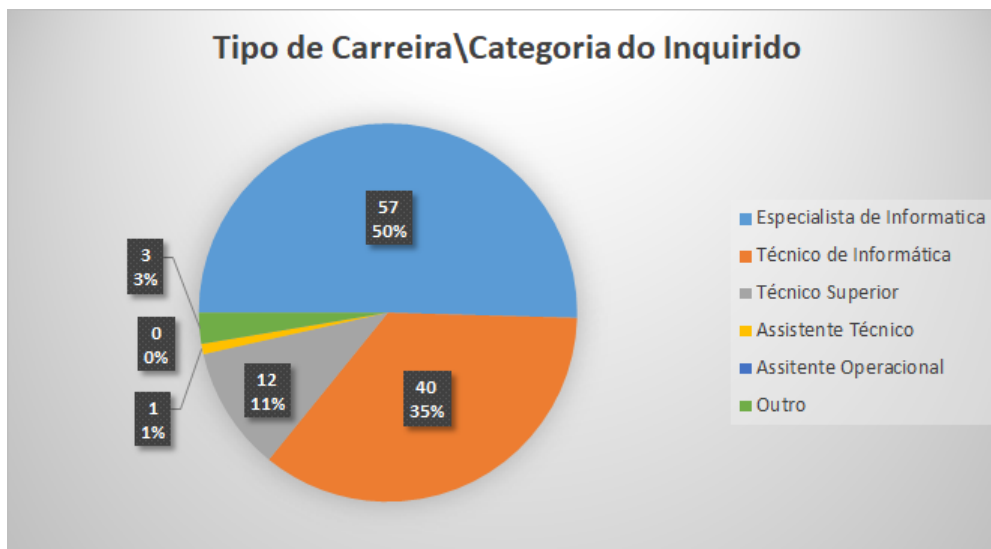


Figura 3.4: Distribuição dos Participantes por Tipo de Carreira\Categoria

### 3.2 Análise de Conhecimentos e Utilização da Tecnologia de Rede SDN.

#### - Questão 5 - Conhece o conceito de Redes SDN (Software Defined Network)?

Após a análise do cenário demográfico relativamente aos indivíduos participantes no inquérito, vamos analisar a área dos seus conhecimentos técnicos. Pode-se concluir que 53% dos inquiridos, ou seja 60 indivíduos, conhecem o conceito da tecnologia de redes SDN. O que implica que uma grande percentagem, 47% o que equivale a 53 indivíduos, não conhece este conceito (Figura 3.5).

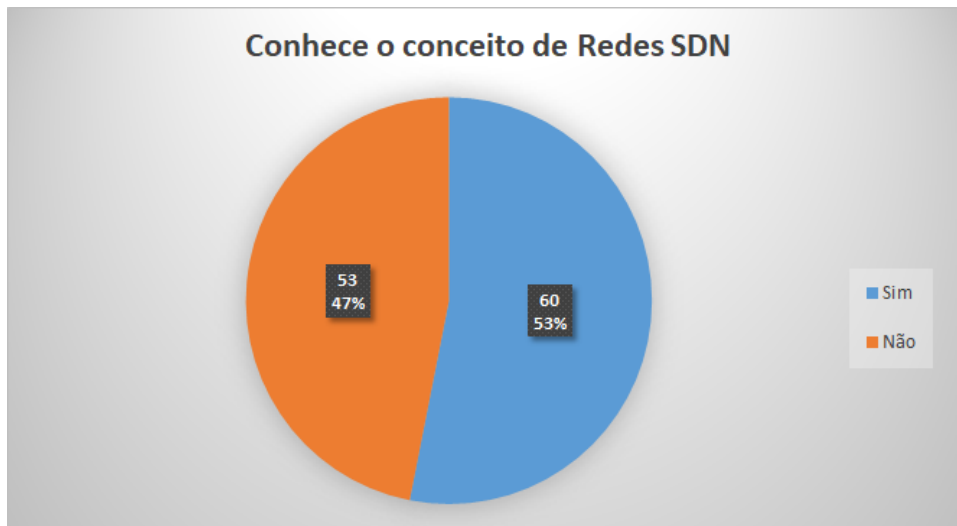


Figura 3.5: Distribuição do Conhecimento sobre o Conceito de Redes SDN.

**- Questão 6 - Trabalha com a tecnologia SDN na gestão de redes?**

Quando se coloca a questão aos inquiridos que conhecem esta tecnologia, se trabalham com a tecnologia de Rede SDN (Figura 3.6). Apenas 8%, o que equivale a somente 5 indivíduos, é que trabalham com a tecnologia SDN. Assim sendo, temos 55 indivíduos que conhecem a tecnologia, mas que a não utilizam, o que permite concluir que 92% dos indivíduos que conhecem a tecnologia não tira qualquer benefício desse facto.

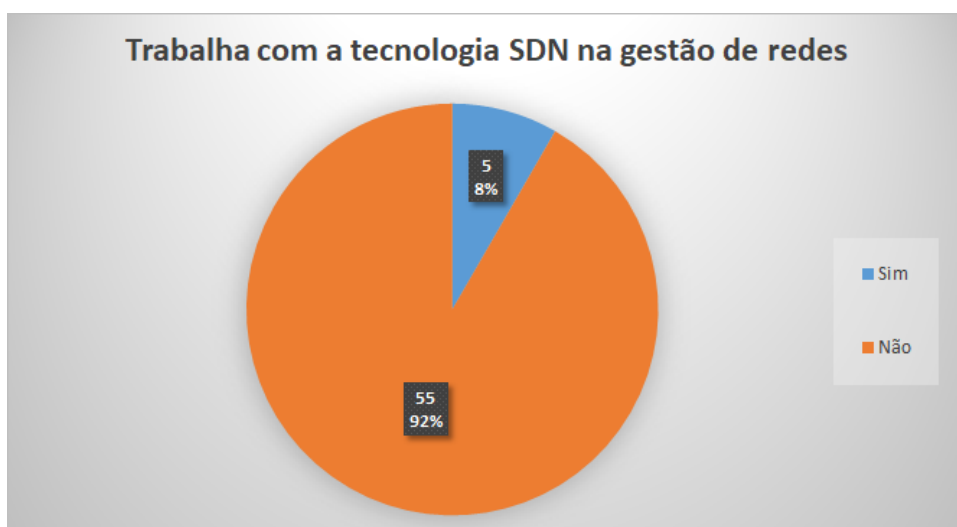


Figura 3.6: Distribuição dos Municípios que Trabalham com a Tecnologia SDN.

**- Questão 7 - Se respondeu Sim, na questão 6, indique em que situação é utilizada?**

Na tabela 3.2 podemos observar as respostas dadas pelos inquiridos quando responderam "Sim" à pergunta 6. A tabela reúne, assim, as respostas à questão 7, onde se questiona em que situação é utilizada a tecnologia de rede SDN. Nesta pergunta obteve-se cinco respostas, que descrevem as diferentes situações em que os municípios utilizam as redes SDN.

<b>Se respondeu Sim, na questão 6, indique em que situação é utilizada</b>
Sendo o conceito muito comum, utilizamos SWAN...
Devido ao conceito que é muito idêntico, utiliza-se SD-WAN
SDWAN, Network virtualization
Unifi
Na virtualização, a configuração de rede dos hosts - VMware vsphere (network e network storage). Mas não temos VMware NSX-T (talvez na próxima atualização da infraestrutura)

Tabela 3.2: Situações em que os Municípios utilizam Redes SDN

**- Questão 8 - Se não, qual é o motivo?**

Quando se analisa o cenário dos indivíduos que conhecem a tecnologia SDN e que, por qualquer motivo, não a utilizam no seu dia-a-dia, tentou-se perceber quais os principais motivos de não utilizarem a tecnologia SDN no seu Município (Figura 3.7). Assim facilmente se concluiu que o principal motivo se deve à falta de recursos financeiros, com 16 respostas, o equivalente a 29% em percentagem. O segundo motivo mais respondido deve-se com a complexidade da sua implementação, com 13 respostas, ou seja 24%. O terceiro motivo mais referido foi o facto de a infraestrutura de suporte não suportar a tecnologia de rede SDN, com 10 respostas o que equivale a 18% do total de respostas. Com 4 respostas, surge a opção de falta de recursos humanos, o que significa em termos percentuais um valor de 7%. Também foi referida a inexistência de fornecedores adequados e fiáveis, com a mesma percentagem de 7%. Por fim, temos a opção "outros" com 8 respostas, o equivalente de 15% da respostas. Na tabela 3.3 podemos observar as respostas referidas como "outros".

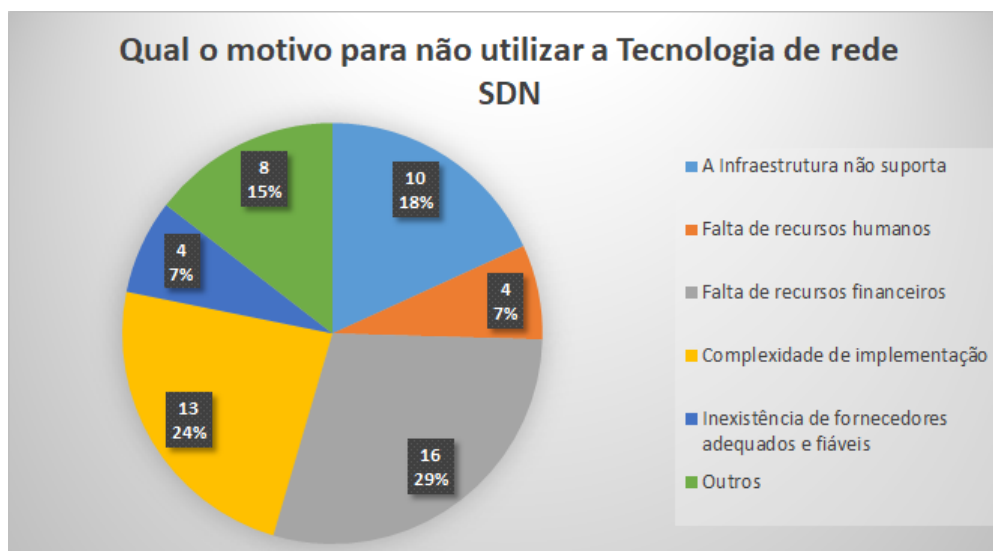


Figura 3.7: Distribuição dos Motivos Para Não Utilizar a Tecnologia de Rede SDN.

<b>Opção Outros</b>
Nunca foi considerado
Ainda não evoluímos naturalmente para nova tecnologia de redes, essa ou outra
Ainda não desenvolvemos projecto para tal
Os benefícios de uma implementação desta tecnologia, não justificam o encargo prático adveniente, tendo em conta quer a nossa escala, quer a adaptabilidade da infraestrutura existente, quer ainda a necessidade de adaptação a esta tecnologia por parte de quem nos fornece o ERP.
Pouco conhecimento
Ainda não se justifica a implementação
Ainda não analisamos devidamente a solução
Embora não se tenha realizado um estudo SDN, a infraestrutura de rede não tem a complexidade implementação do mesmo. À também a possibilidade de a infraestrutura não suportar (não verificado)

Tabela 3.3: Motivos de quem respondeu na questão anterior a opção "Outros".

**- Questão 9 - Acha que seria interessante utilizar no seu serviço, a tecnologia de Rede SDN?**

Aos 53 inquiridos que responderam na questão 5 "Não conhecer a tecnologia SDN", foi feita uma breve explicação sobre o referido conceito. Após ter sido feita uma apresentação sobre o conceito da tecnologia SDN, foi colocada a questão se achavam interessante utilizar



a tecnologia de rede SDN no seu serviço. Para tal, foi utilizada uma escala de 5 níveis [120] <sup>1</sup>, 1º nível – Discordo Totalmente, 2º nível – Discordo, 3º nível – Nem Concordo / Nem Discordo, 4º nível – Concordo e 5º nível – Concordo Totalmente. Assim sendo, 60% dos inquiridos responderam favoravelmente, sendo que isto se traduz em 32 respostas. distribuídos da seguinte forma: 10 responderam ”concordar totalmente”(o equivalente a 19%) e 22 responderam ”concordar”(ou seja 41%). Já 34% responderam ”Não Concordam / Nem Discordam”, o que corresponde a número efetivo de 18 respostas. Enquanto que as respostas desfavoráveis correspondem apenas a 6%, distribuídas da seguinte forma, 2 inquiridos responderam ”discordar”(o que equivale a uma percentagem de 4%) e 1 inquirido respondeu ”discordar totalmente”(o que corresponde a 2%). Esta informação está disponível no Figura 3.8.

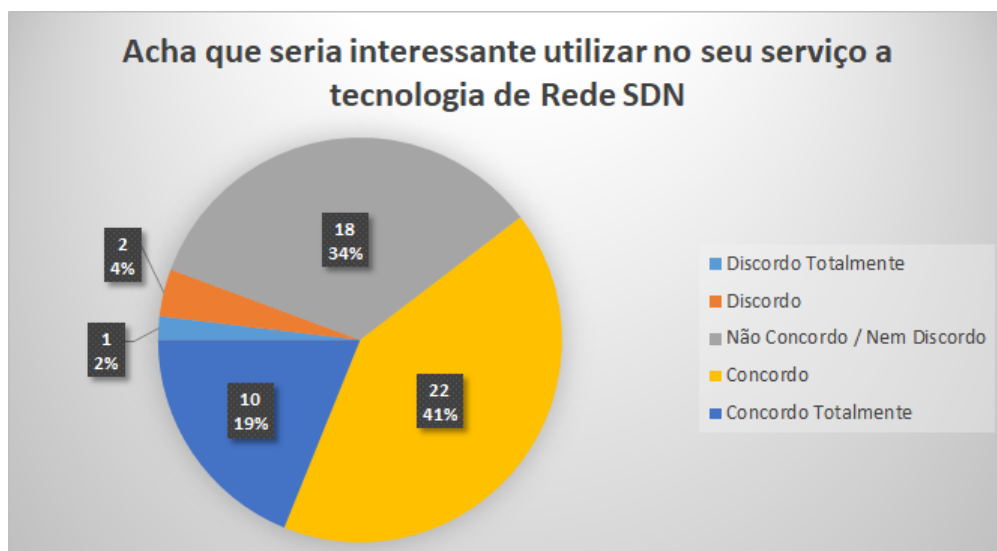


Figura 3.8: Distribuição do Interesse em Utilizar a Tecnologia de Rede SDN.

### 3.3 Benefícios da Utilização das Redes SDN

#### - Questão 10 - Principais aplicações que podem beneficiar das redes SDN?

A questão número 10 é constituída por 5 alíneas, Cada uma das alíneas tem uma

<sup>1</sup>5-Point Likert Scale [120]

escala de resposta de 5 níveis, dividida da seguinte forma: 1 – Discordo Totalmente, 2 – Discordo, 3 – Nem Concordo / Nem Discordo, 4 – Concordo e 5 – Concordo Totalmente.

As alíneas de esta questão são:

- A. Gestão de Redes e Engenharia de Tráfego
- B. Balanceamento de Carga (Gestão de Largura de Banda)
- C. Segurança
- D. Controlo Distribuído de Aplicações e Integração na Cloud (Virtualização)
- E. Monitorização e Inteligência de Rede

#### - Questão 10-A - Gestão de Redes e Engenharia de Tráfego

Na alínea 10-A é questionado se a “Gestão de Redes e Engenharia de Tráfego- Figura 3.9 - podem beneficiar da tecnologia de rede SDN. Nesta questão, 63 dos inquiridos responderam ”concordar”, ou seja com 56% das respostas, enquanto que 38 responderam ”concordar totalmente”, o que equivalente a 33% das respostas. O número de respostas ”não Concordo/nem Discordo” traduz-se em 11 respostas, o correspondente a 10% dos inquiridos. Enquanto que o número de respostas desfavoráveis recolhidas foi apenas de uma e na opção ”discordo”.

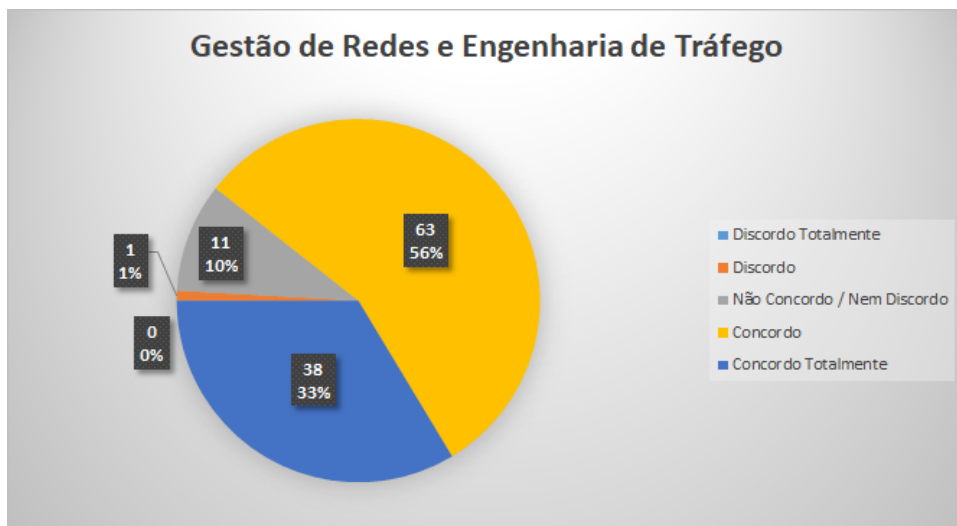


Figura 3.9: Distribuição da Opinião se a Gestão de Rede e a Engenharia de Tráfego Beneficiam das Redes SDN.

### - Questão 10-B - Balanceamento de Carga (Gestão de Largura de Banda)

Na alínea 10-B questiona-se o “Balanceamento de Carga (Gestão de Largura de Banda)- Figura 3.10 - pode beneficiar da tecnologia de rede SDN. Nesta questão, obteve-se 26 respostas ”concordo totalmente”, o que representa 23% das respostas, já 59% das respostas escolheram a opção ”concordo”. Por outro lado, e relativamente à alínea anterior, 16% dos inquiridos mostram-se indecisos, tendo 18 indivíduos respondido ”não concordo/nem discordo”. A respostas desfavoráveis apenas foram duas, e na opção ”discordo” (uma taxa de 2%).

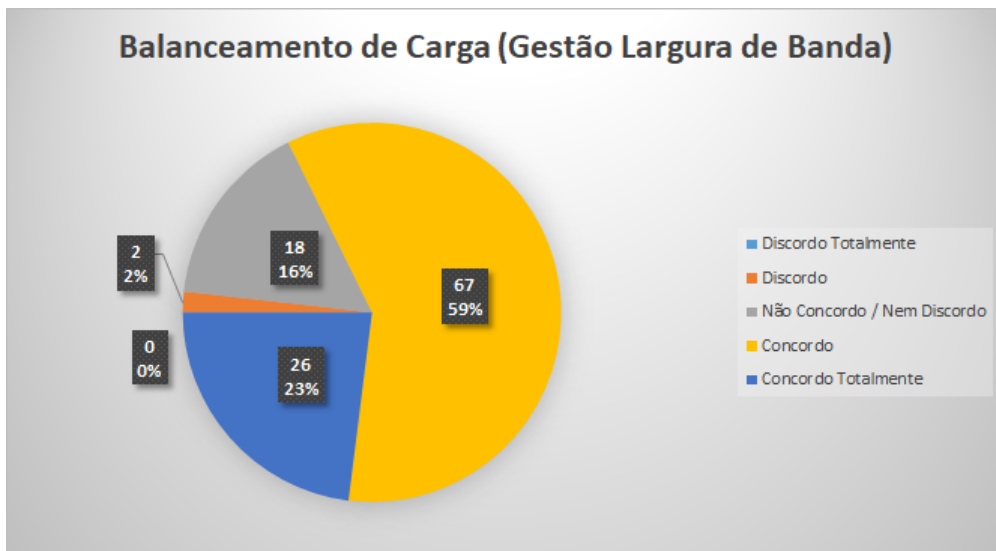


Figura 3.10: Distribuição da Opinião se o Balanceamento de Carga (Gestão de Largura de Banda) Beneficia das Redes SDN.

### - Questão 10-C - Segurança

Na questão da alínea 10-C é colocada a questão se a “Segurança” - Figura 3.11 - pode tirar partido da tecnologia de rede SDN. Nesta alínea, obteve-se 3% de respostas desfavoráveis, distribuídas da seguinte forma, uma resposta ”discordo totalmente”o que corresponde a uma percentagem de 1%, enquanto que a opção ”discordo” foi referida duas vezes (ou seja 2% do total de respostas). A opção ”não concordo/nem discordo” foi registada 32 vezes, o que equivale a 28% das respostas. A maioria das respostas dadas

foram favoráveis e estão distribuídas da seguinte forma, 50 respostas escolheram a opção "concordo", o que corresponde a 44% de respostas, e a opção "concordo totalmente" foi selecionada 28 vezes representando assim 25% das respostas.

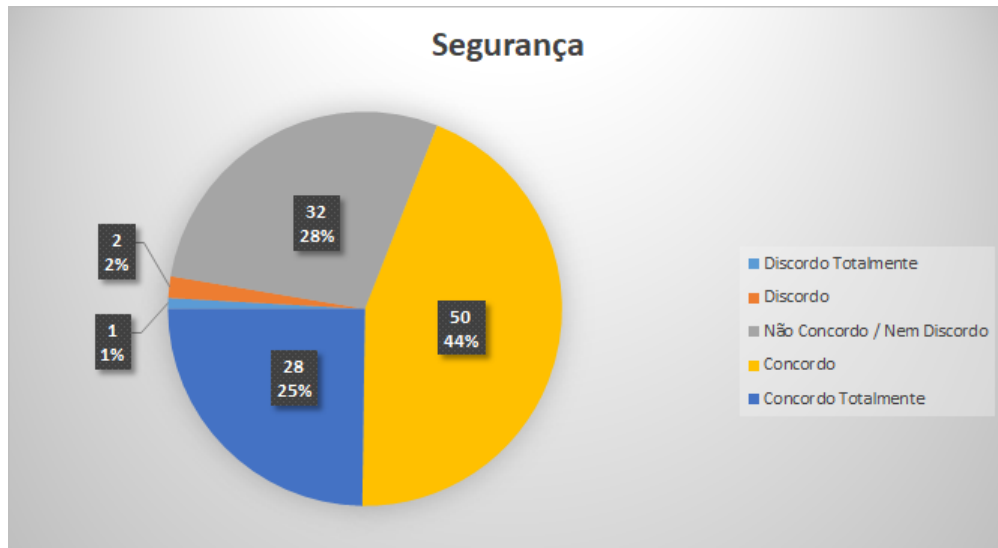


Figura 3.11: Distribuição da Opinião se a Segurança Beneficia das Redes SDN.

#### - **Questão 10-D Controlo Distribuído de Aplicações e Integração na Cloud (Virtualização)**

Na alínea 10-D é abordado se o "Controlo Distribuído de Aplicações e Integração na Cloud (Virtualização)" - Figura 3.12 - pode beneficiar com a tecnologia de rede SDN, Esta questão obteve 25 respostas com a opção "concordo totalmente" (o equivalente a 22% das respostas), enquanto que a opção "concordo" obteve 64 respostas (o que corresponde a 57% das respostas). Já a a opção "não Concordo/nem discordo" obteve 21 respostas (18% das respostas). Foram ainda registadas 3 respostas desfavoráveis na opção "discordo", um valor percentual de 3%.

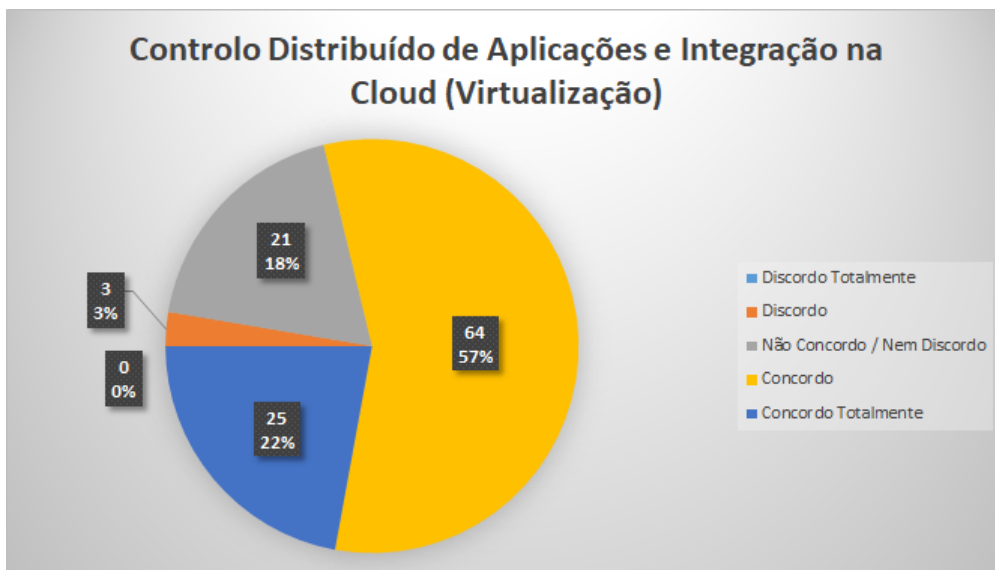


Figura 3.12: Distribuição da Opinião se o Controlo Distribuído de Aplicações e Integração na Cloud (Virtualização) Beneficiam das Redes SDN.

#### - Questão 10-E - Monitorização e Inteligência de Rede

Na alínea 10-E era solicitado aos inquiridos para registarem a sua opinião sobre se a “Monitorização e Inteligência de Rede” - Figura 3.13 - podem beneficiar com a tecnologia de rede SDN. Nesta questão, obteve-se 55 respostas na opção “concordo”, ou seja uma percentagem 49% das respostas. Obteve-se ainda, nesta alínea, 43 respostas na opção “concordo totalmente”, valor de 38% das respostas. A opção “não concordo/nem discordo” foi registada 15 vezes, o que representa 13% das respostas.

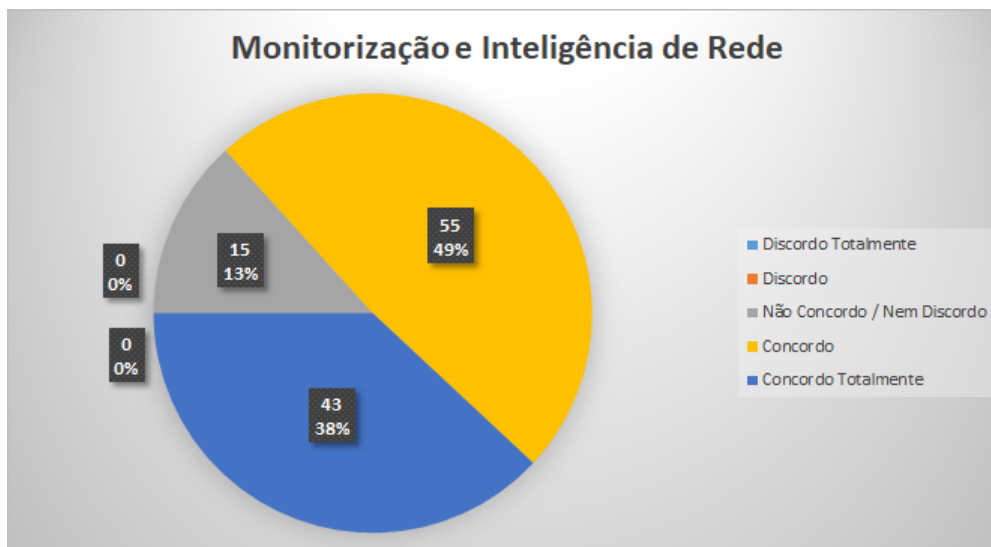


Figura 3.13: Distribuição da Opinião se a Monitorização e Inteligência de Rede Beneficiam das Redes SDN.

### 3.4 Integração da Inteligência Artificial nas Redes SDN

#### - Questão 11 - Vê vantagens da integração da Inteligência Artificial nas Redes SDN (Software Defined Network)?

Relativamente à questão “Vê Vantagens da Integração da IA nas Redes SDN”, Figura 3.14, as respostas dos 113 inquiridos foram distribuídas dada seguinte forma: zero respostas na opção “discordo totalmente” e uma resposta na opção “discordo” (o que corresponde a 1%), 30 respostas na opção “nem concordo/nem discordo”, o que equivale a 27% das respostas. Com 59 respostas, o equivalente a 52% das respostas totais, na opção “concordo” para a integração da IA com a tecnologia de rede SDN e ainda 23 respostas, representando assim 20% das respostas totais, na opção “concordo totalmente”

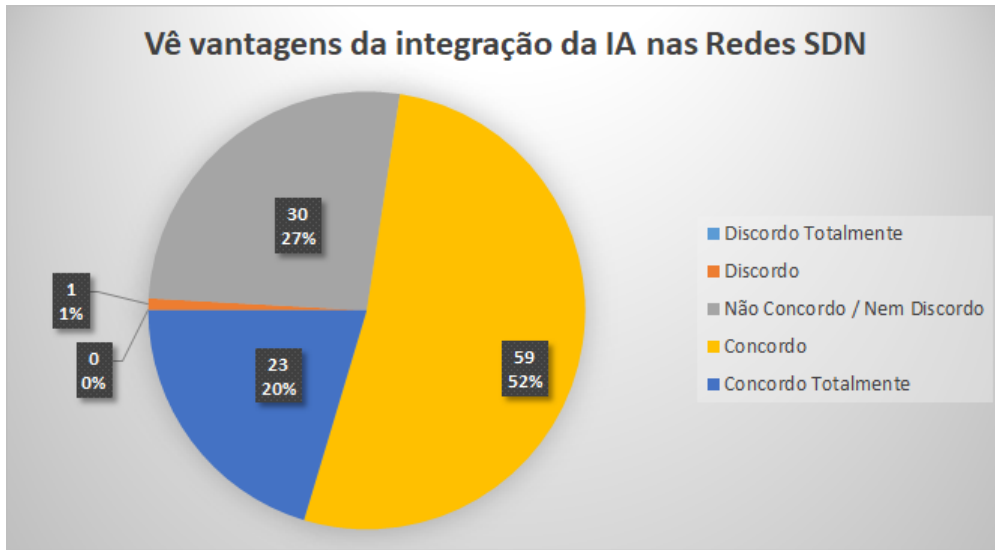


Figura 3.14: Distribuição da Opinião sobre "Vê Vantagens da Integração da IA nas Redes SDN".

**- Questão 12 - Quais seriam as áreas mais importantes da integração da inteligência Artificial nas redes SDN?**

A questão número 12 é constituída por 5 alíneas, e onde cada uma destas alíneas tem uma escala de resposta de 5 níveis, dividida da seguinte forma: 1 – Discordo Totalmente, 2 – Discordo, 3 – Nem Concordo / Nem Discordo, 4 – Concordo e 5 – Concordo Totalmente. As alíneas que constituem esta questão são:

- A. Segurança
- B. Classificação de Tráfego
- C. Otimização de Rotas de Encaminhamento
- D. Gestão de Recursos
- E. Qualidade de Serviço (QoS)

**- Questão 12-A - Segurança**

Quando questionamos se a Segurança seria uma das áreas mais importantes para a integração da IA nas redes de tecnologia SDN, obteve-se a informação ilustrada pela Figura 3.15. Assim, registaram-se 57 respostas "concordo", o que representa a 50% das

respostas. Enquanto que 26% responderam "concordo totalmente", ou seja 29 respostas. Já os indecisos representam 22% do total de respostas, ou seja 25 respostas registadas na opção "não concordo/nem discordo". O número de respostas menos positivas representa 2% (uma resposta na opção "discordo" e uma resposta na opção "discordo totalmente").

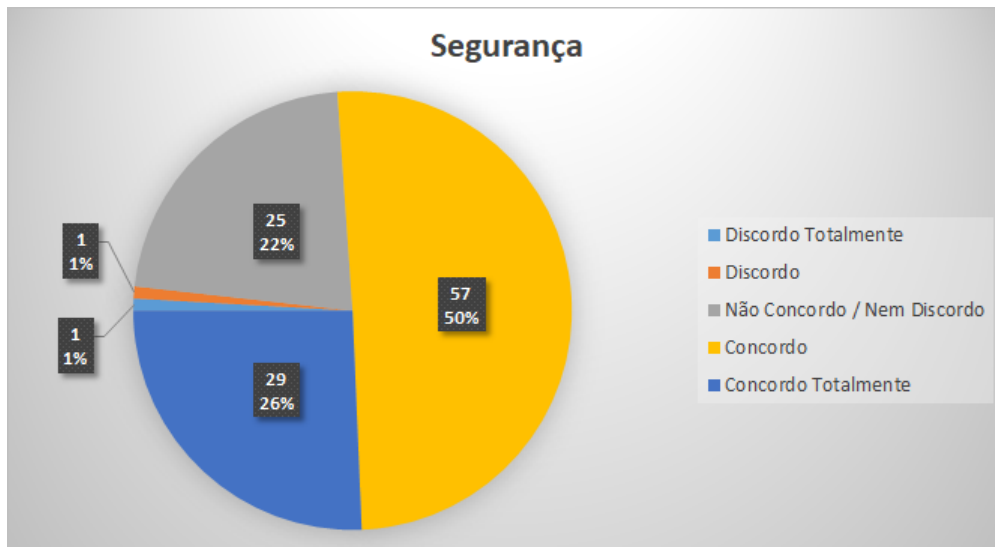


Figura 3.15: Distribuição da Opinião sobre se a "Segurança" seria uma das áreas mais importantes da integração da IA nas redes de tecnologia SDN.

### - Questão 12-B - Classificação de Tráfego

Quando se coloca a questão se a Engenharia de tráfego ganharia benefícios com a integração da IA nas redes SDN, as respostas dadas não deixam margem para qualquer dúvida, já que 57% dos inquiridos, ou seja um valor absoluto de 65 das respostas, escolheram a opção "concordo", já a opção "concordo totalmente" representa 26 respostas, o que traduz 23% das respostas selecionadas. Estas duas opções em conjunto representam 80% das respostas. Nesta questão, a opção "não concordo/nem discordo" obteve 21 respostas, o que equivale a 19% das respostas. Por sua vez as respostas negativas representam 1% (opção "discordo").



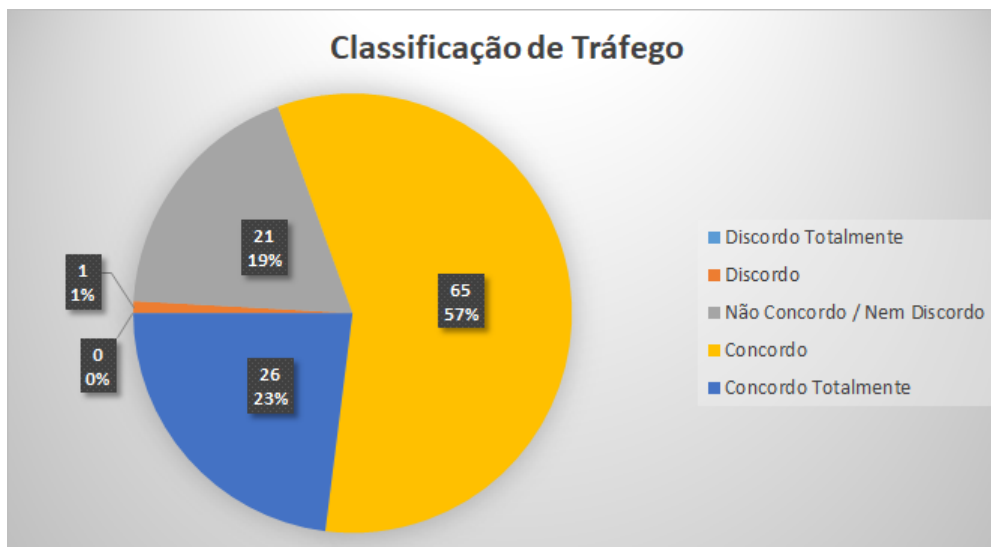


Figura 3.16: Distribuição da Opinião sobre se a "Engenharia de tráfego" ganharia benefícios com a integração da IA nas redes SDN.

#### - Questão 12-C - Otimização de Rotas de Encaminhamento

Na alínea C da questão 12, é pedido para se indicar a opinião sobre se a "Otimização de Rotas de Encaminhamento" iria beneficiar com a integração da IA com a tecnologia de rede SDN. As repostas obtidas, tal como se pode verificar na Figura 3.17, distribuem-se da seguinte forma: a opção "concordo" com 62 repostas e uma percentagem de 55%, a opção "concordo totalmente" com 35 repostas e um percentagem de 31%, a opção "não concordo/nem discordo" com 15 repostas, ou seja 15% do total das repostas. Apenas se obteve uma resposta (1% do total) na opção "discordo".

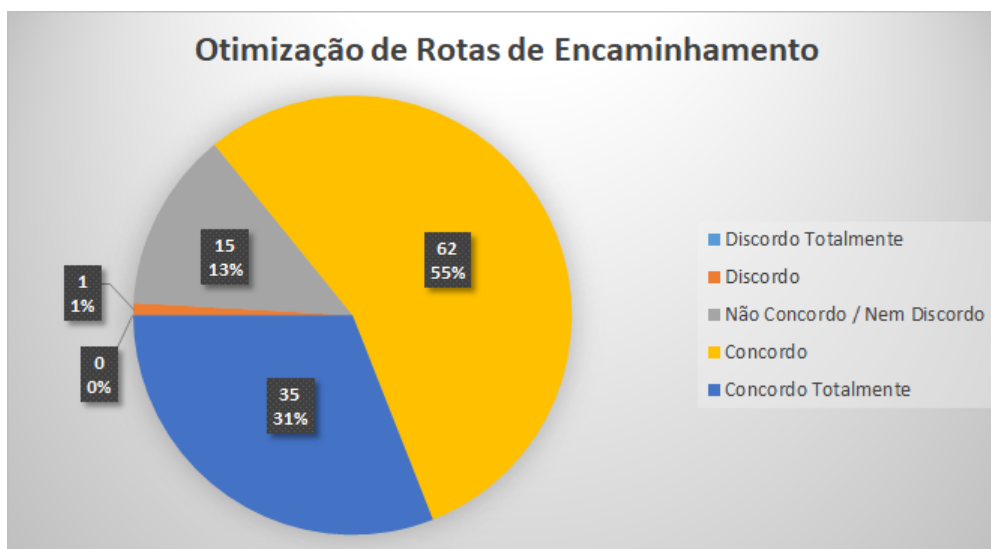


Figura 3.17: Distribuição da Opinião sobre se a “Otimização de Rotas de Encaminhamento” iria beneficiar com a integração da IA com a tecnologia de rede SDN.

#### - Questão 12-D - Gestão de Recursos

Na alínea D, questiona-se se a “Gestão de Recursos” retira partido da integração da IA com a tecnologia de rede SDN. A Figura 3.18 apresenta os resultados obtidos. Nessa alínea, 55% das respostas, ou seja 62 respostas, foram registadas na opção ”concordo”, a opção ”concordo totalmente” foi registada 29 vezes, representando uma percentagem de 26% do total. A opção ”não concordo/nem discordo” obteve 21 respostas, o que corresponde a 18% das respostas. Mais uma vez, a opção ”discordo” obteve um registo (1%).

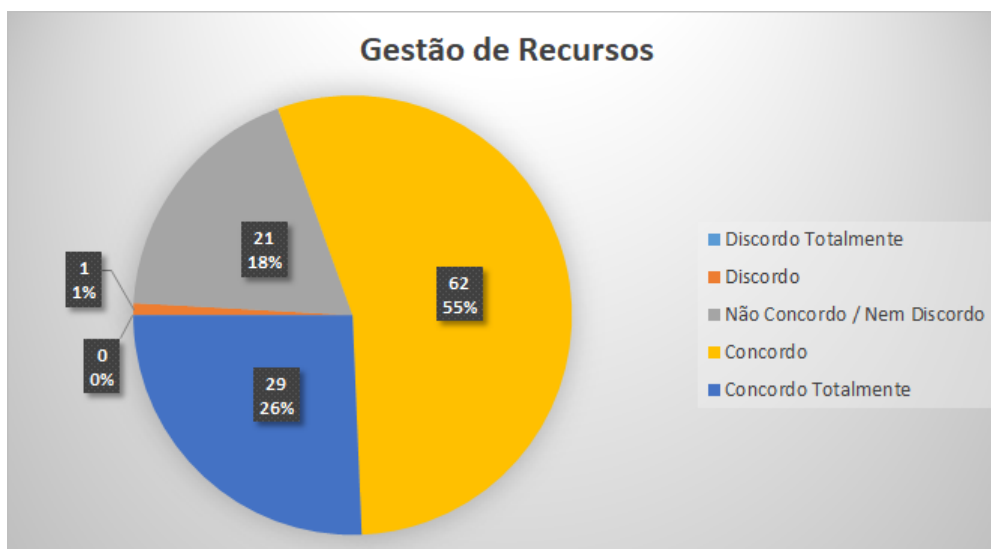


Figura 3.18: Distribuição da Opinião sobre se a “Gestão de Recursos” retira partido da integração da IA com a tecnologia de rede SDN.

#### - Questão 12-E - Qualidade de Serviço (QoS)

Quando se coloca a questão se a “Qualidade de Serviço (QoS)” é uma área que pode beneficiar com a integração da IA com a tecnologia de Redes SDN, as respostas dos 113 inquiridos distribuem-se da seguinte forma (Figura 3.19); uma resposta na opção “discordo”, a opção “nem concordo/nem discordo” obteve 14% das respostas, o que significa um total de 16 respostas. Na opção “concordo” registaram-se 68 respostas, o que corresponde a 58% e a opção “concordo totalmente” obteve 30 respostas, o equivalente a 27% das respostas totais.

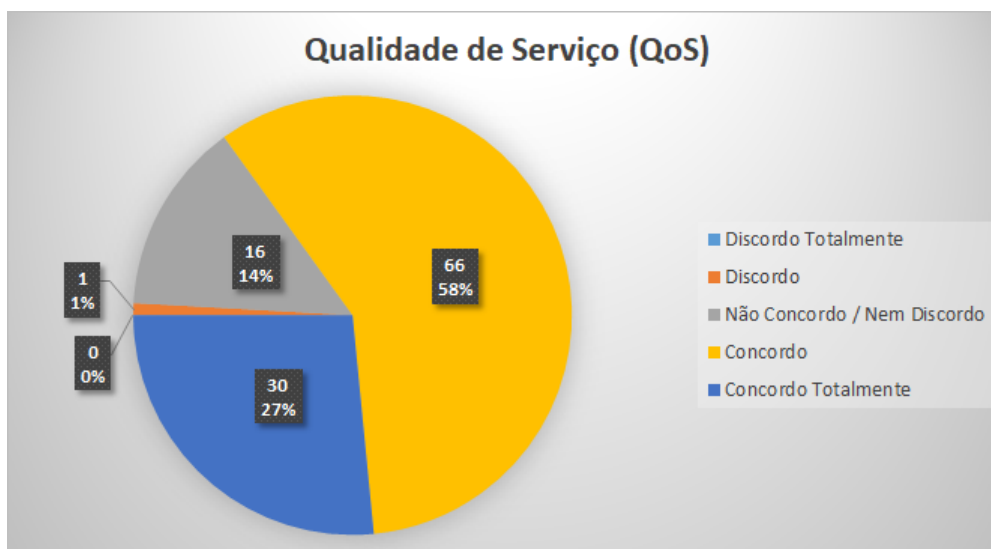


Figura 3.19: Distribuição da Opinião sobre se a “Qualidade de Serviço (QoS)” é uma área que sai favorecida com a integração da IA com a tecnologia de Redes SDN.

**- Questão 13 - Quais as vantagens da integração da Inteligência Artificial?**

A questão número 13 é também constituída por 5 alíneas (cada alínea tem uma escala de resposta de 5 níveis, dividida da seguinte forma: 1 – Discordo Totalmente, 2 – Discordo, 3 – Nem Concordo / Nem Discordo, 4 – Concordo e 5 – Concordo Totalmente). As alíneas que constituem esta questão são:

- A. Gestão mais eficiente dos recursos
- B. Redução de custos na gestão de rede
- C. Gestão eficiente de recursos na rede
- D. Disponibilização de mais serviços
- E. Aumento da disponibilidade

**- Questão 13-A - Gestão mais eficiente dos recursos**

Quando se questiona se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de uma “Gestão Mais Eficiente dos Recursos”, nos 113 elementos inquiridos não foi dada nenhuma resposta desfavorável, isto é, ninguém respondeu ”discordo” ou ”discordo totalmente”. Quanto à opção ”não concordo/nem discordo”, esta registou 16 respostas,

o que representa 14% do total de respostas, já a opção mais escolhida foi “concordo” com um total de 67 respostas o que equivale a 59% das respostas e a opção ”concordo Totalmente” foi escolhida por 30 inquiridos o que significa 27% das respostas, tal como se pode verificar na Figura 3.20 .

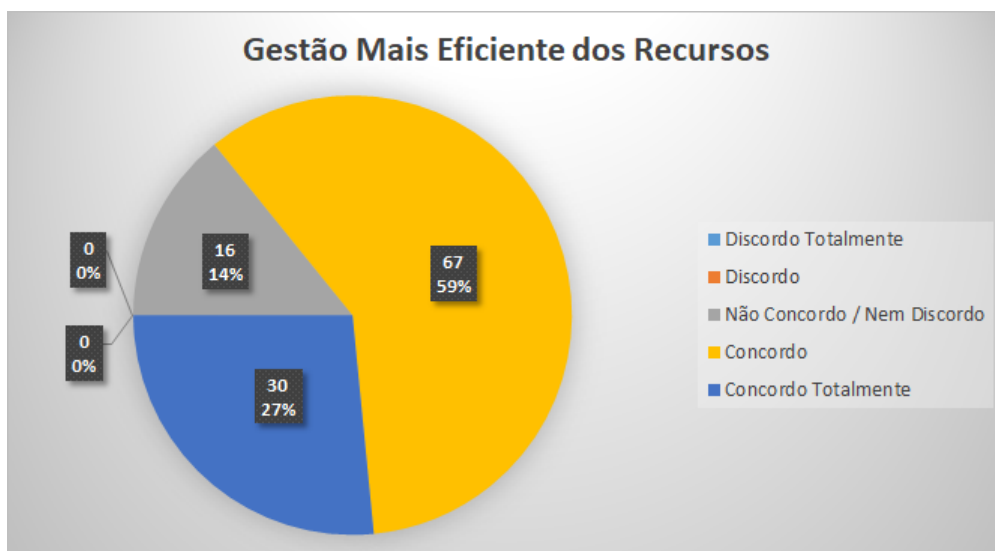


Figura 3.20: Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de uma “Gestão Mais Eficiente dos Recursos”

#### - Questão 13-B - Redução de custos na gestão de rede

Na alínea B pretende-se determinar se é considerada vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Redução de Custos na Gestão de Rede”. Nesta alínea, obteve-se duas 2 respostas na opção ”discordo”(2%). A percentagem de inquiridos que escolheram a opção ”não concordo/nem discordo”foi de 31%, o que representa 35 respostas. As respostas na opção ”concordo”foram 53, o que equivale a 47%, já a opção ”concordo totalmente”obteve 23 respostas o mesmo que 20% das respostas obtidas. Esta informação encontra-se na Figura 3.21.

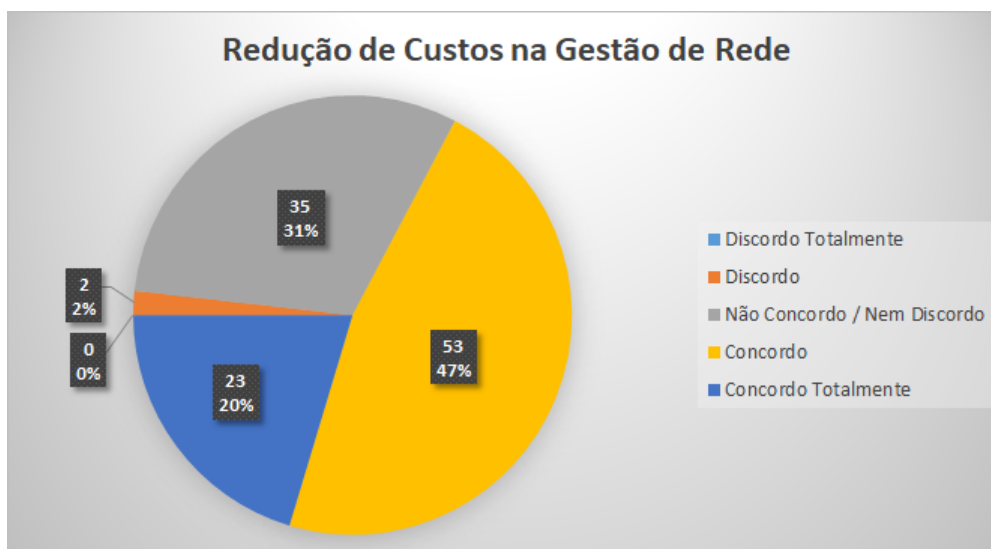


Figura 3.21: Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Redução de Custos na Gestão de Rede”.

#### - Questão 13-C - Gestão eficiente de recursos na rede

Na alínea C questiona se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de uma “Gestão Eficiente de Recursos de Rede”. Nesta questão não se obteve qualquer resposta desfavorável. A resposta mais selecionada foi a “concordo” com 59 respostas, ou seja 52% do total, enquanto que a opção “concordo totalmente” foi referida 38 vezes, o que significa 34% das respostas. Por fim, a opção “não concordo/nem discordo” foi registada 16 vezes, o que implica uma percentagem de 14% das respostas totais.

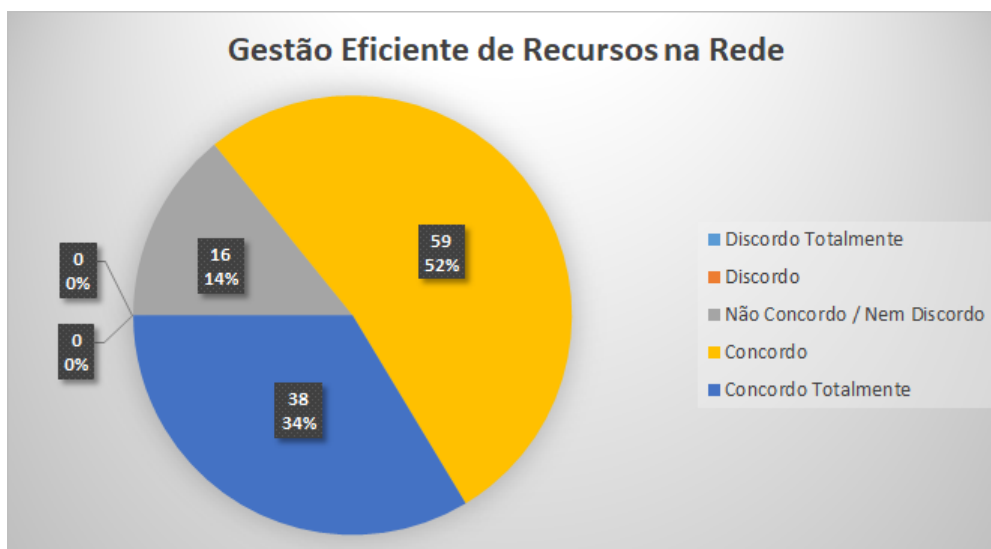


Figura 3.22: Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de uma “Gestão Eficiente de Recursos de Rede”.

#### - Questão 13-D - Disponibilização de mais serviços

Com a alínea D pretende-se perceber se pode ser vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Disponibilização de Mais Serviços”, as respostas dos 113 participantes distribuíram-se da seguinte forma: 49% das respostas na opção “concordo” (55 respostas), a opção “concordo totalmente” com 21% (24 respostas). Em termos de opção “não concordo/nem discordo” obteve-se 32 respostas (28% do total de respostas) e 2% das respostas dadas foram registadas na opção “discordo” (ver Figura ??).

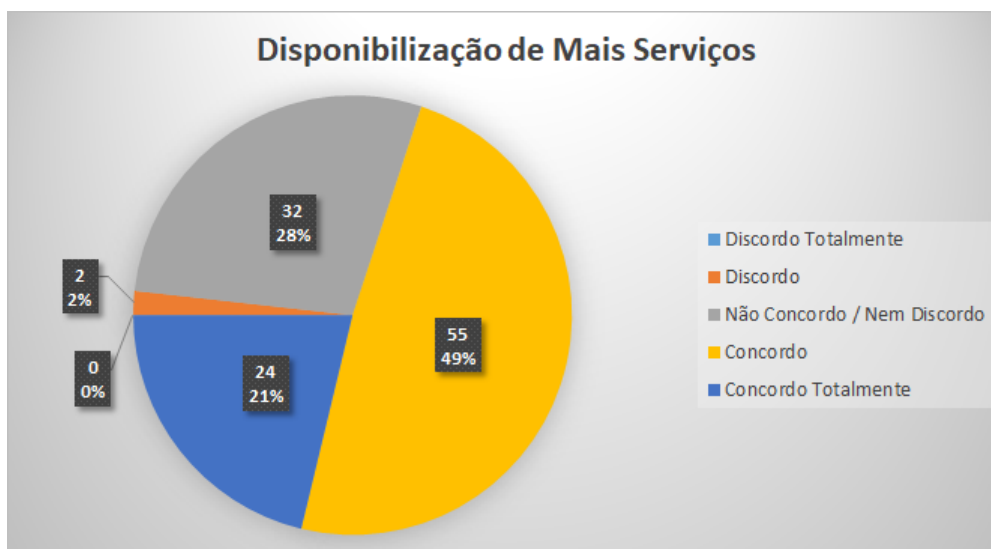


Figura 3.23: Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Disponibilização de Mais Serviços”

#### - Questão 13-E - Aumento da disponibilidade

Na última alínea da questão 13, é questionado se é vantajoso a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Aumento da Disponibilidade” (ver Figura 3.24). A opção “concordo” obteve 62 respostas, o que corresponde a 55% do total de respostas, enquanto que a opção “concordo totalmente” foi selecionada 24 vezes, correspondendo a 21%. Registaram-se 26 respostas na opção “não concordo/nem discordo”, o que representa 23% das respostas. Finalmente, a opção “discordo” obteve uma resposta (1%).



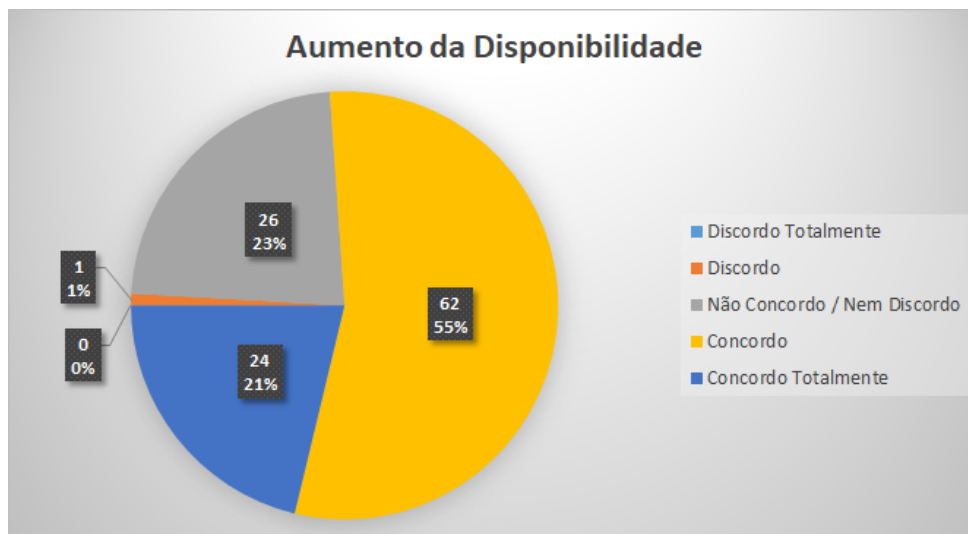


Figura 3.24: Distribuição da Opinião sobre se é vantajosa a integração da IA na tecnologia de Rede SDN ao nível de “Aumento da Disponibilidade”

### 3.5 Observação e Análise das Relações

Para se perceber se existem algumas dependências entre algumas variáveis, isto é se os resultados são ou não fruto do acaso, e compreender melhor o cenário sobre o estudo da utilização das redes SDN, definimos três cenários possíveis. O primeiro cenário consiste em verificar a relação entre conhecer o conceito SDN e a categoria profissional do inquirido, o segundo cenário passa por analisar se existe uma relação entre a categoria profissional e o facto de se concordar, ou não, com a integração das redes SDN com a IA e o terceiro cenário consiste em investigar se há uma relação entre o concordar ou não com a integração das redes SDN com a IA e a zona geográfica dos inquiridos/municípios. Como nota, refere-se que a categoria de “Assistente Operacional” não aparece na análise das relações, já que nenhum dos inquiridos é detentor desta categoria.

Para se analisar essa dependência, ou essa relação, entre as variáveis calculou-se o *valor - p*. Em estatística, a probabilidade de se observar um valor de estatística de teste maior ou igual ao encontrado dá-se o nome de *valor - p*. Quanto menor o *valor - p*, mais forte a evidência contra a hipótese nula. Um limite de *valor - p* muito comum é o valor 0.05. Quando não existe nenhuma diferença, um valor extremo para a estatística de teste

é aguardado em menos de 5% das vezes, o que significa que as variáveis são independentes e que não existe relação entre as mesmas [121] ou seja, os resultados decorrem do acaso [122].

Em resumo pode-se afirmar que após o cálculo do *valor - p* pode-se concluir uma das seguintes decisões [123]:

- se o *valor - p* for menor ou igual a 0.05, que não existe relação, nem dependência, entre as variáveis analisadas e que os resultados são fruto do acaso;
- se o *valor - p* for maior que 0.05, existe uma relação dependente entre as variáveis analisadas.

### 3.5.1 Relação Entre Conhecer o Conceito SDN e a Categoria Profissional

Na análise da dependências destas duas variáveis, o *valor - p* obtido é maior que 0.05. Isto prova que efetivamente existe uma relação entre o facto de ser conhecido o conceito SDN e a respetiva categoria profissional do inquirido. Isto tem como resultado o facto de inquiridos que possuam uma maior categoria profissional também têm um maior conhecimento relativamente da tecnologia SDN (Figura 3.25).

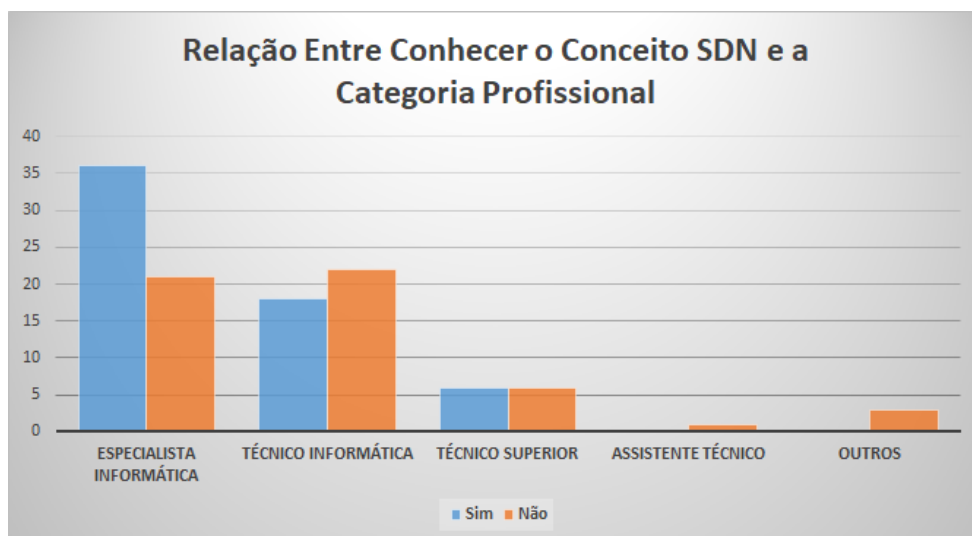


Figura 3.25: Relação Entre Conhecer o Conceito SDN e a Categoria Profissional.

### 3.5.2 Relação Entre Categoria Profissional e Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN

Relativamente à relação aqui estudada, é possível concluir que não existe uma relação entre a categoria e o facto de se concordar ou não com a integração da IA nas redes SDN (*valor - p* menor que 0.05). Isto significa que, de uma forma geral, e tal como mostram os resultados do inquérito, todos os inquiridos reconhecem potencialidades na integração da IA nas redes SDN. Através de uma rápida análise da Figura 3.26, verifica-se que o número de respostas desfavoráveis é quase nulo.

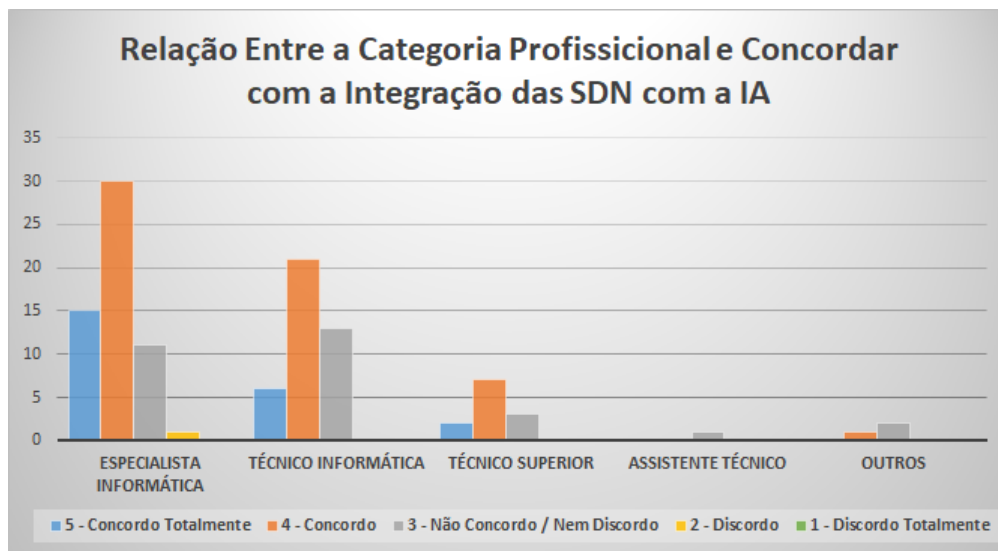


Figura 3.26: Relação Entre Categoria Profissional e Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN.

### 3.5.3 Relação Entre Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN e a Zona Geográfica

O teste *qui-quadrado* (também conhecido como teste  $X^2$ ) é um teste estatístico usado para determinar se há uma diferença significativa entre as frequências esperadas e as frequências observadas em uma ou mais categorias [124]. É também utilizado para testar a independência de duas variáveis de diferentes categorias. A estatística de teste é calculada como a soma das diferenças ao quadrado entre as frequências observadas e esperadas,

dividida pelas frequências esperadas. Existem diferentes tipos de testes *qui-quadrado*. O teste utilizado neste trabalho foi o teste de Independência.

Para verificar se existia alguma relação entre o concordar com a integração da IA com as redes de tecnologia SDN e a zona geográfica (Figura 3.27), aplicou-se o teste *qui-quadrado*. Após análise do resultado, pode-se concluir que não existe uma relação entre o concordar com a integração de IA nas redes SDN e a zona geográfica, pois uma grande parte dos inquiridos concorda com essa integração independentemente da zona geográfica onde trabalham e residem.

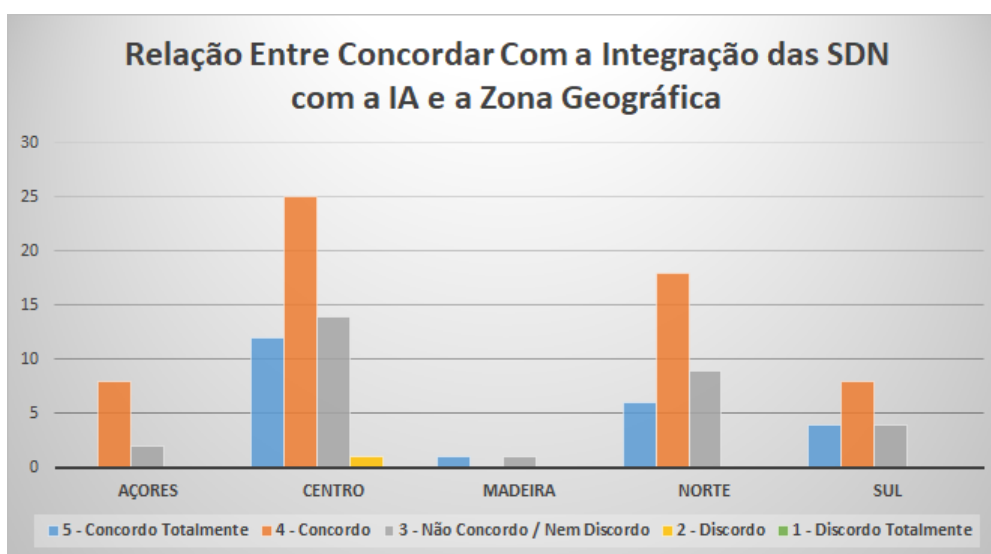


Figura 3.27: Relação Entre Concordar com a Integração da IA com as Redes SDN e a Zona Geográfica.

### 3.6 Conclusões do Inquérito

Após uma análise detalhada aos dados recolhidos, através do referido inquérito, pode-se verificar que 50% dos respondentes situa-se na faixa etária dos 40 aos 49 anos de idade, sendo na sua maioria do sexo masculino (taxa de 87%). Quando se analisa a carreira / categoria dos inquiridos facilmente se deduz que metade dos inquiridos são "Especialistas de Informática", isto é, estão na carreira profissional de informática e têm

estudos a nível do ensino superior, 35% são técnicos de informática, o que significa que têm formação ao nível de curso profissional na área da informática. Quando foi questionado quem conhecia a tecnologia de Rede SDN, 50% dos participantes é que responderam afirmativamente e quando se avança para a questão de quem trabalha com esta tecnologia, apenas 5 Municípios é que utilizam, atualmente, essa tecnologia, ou seja apenas cerca de 5% dos Municípios que responderam ao inquérito. Um número realmente muito reduzido. Quando se questiona o principal motivo pela não utilização da tecnologia SDN, as 3 opções mais escolhidas, por ordem decrescente, são as seguintes: 1 - Falta de recursos financeiros, 2 - Complexidade de implementação e 3 - Infraestrutura não suporta essa tecnologia.

Após colocar a questão se achariam interessante utilizar no seu serviço a tecnologia de rede SDN aos responsáveis de informática dos Municípios que não conheciam este conceito, obteve-se um conjunto de respostas realmente favoráveis na ordem dos 60%.

Assim como uma grande maioria percebe de forma positiva os benefícios que a tecnologia de rede SDN pode contribuir nas seguintes áreas: Gestão de redes e Engenharia de Tráfego, Balanceamento de Carga (Gestão da Largura de Banda), Segurança, Controlo Distribuído e integração na *Cloud* (virtualização) e por fim na Monitorização e Inteligência de Rede. Note-se que o número de respostas desfavoráveis à utilização real desse tipos de redes é muito residual.

Quando se analisa as respostas à questão se existem vantagens da integração da IA nas redes SDN, uma vez mais as respostas são favoráveis, bem como da perceção em que áreas essa integração contribuiria de forma favorável.

Em resumo, existe quase uma unanimidade relativamente às vantagens das redes SDN, bem como da evolução que as redes teriam se fosse efetiva a sua integração com a IA. Por outro lado, é demonstrado que ainda há um imenso trabalho a ser desenvolvido, trabalho esse que vai servir de suporte ao desenho de uma *Framework* teórica que pode permitir uma mais rápida utilização e desenvolvimento dessas tecnologias.

## Capítulo 4

# Framework

### 4.1 O Porquê da Framework

Através da análise dos resultados (ver capítulo 3) do inquérito realizado aos Municípios portugueses, foi possível identificar que existem grandes lacunas na interpretação dos benefícios das redes SDN e no conhecimento desses mesmos benefícios com a potencialização através da integração da IA.

Por outro lado, através do inquérito, é possível concluir que existe ainda muita falta de informação sobre este tema. A proposta de uma *Framework* teórica permite, a médio prazo, melhorar essa falta de informação, bem como melhorar o nível de entendimento sobre as potencialidades das redes SDN e a sua integração com IA. Um dos objetivos desta *Framework* é que todos os municípios, num prazo compreendido entre 5 a 6 anos, estejam a um nível equivalente de capacidade de utilização e de conhecimento dessas tecnologias, e que percebam quais as potencialidades que podem ter na prestação de serviços aos munícipes.

Com o que já foi dito anteriormente e a juntar ao aumento exponencial do volume de dados tratados, o que implica que também aumenta o volume de tráfego de dados que circulam nas redes de computadores, podemos concluir que as redes de computadores tradicionais estão a revelar-se antiquadas, já que se baseiam numa arquitetura está a ficar obsoleta. Cada vez mais, é exigido que as redes sejam dinâmicas e flexíveis sendo, por isso, necessário uma maior aposta na evolução e inovação nas redes de informáticas, uma constante atualização das infraestruturas e a utilização e desenvolvimento de novos

paradigmas de redes de computadores, nomeadamente a utilização e aplicação em diversos contextos de redes de tecnologia SDN.

Resumindo, e suportadas pelas conclusões do capítulo 3, existe uma enorme necessidade de potenciar o os conhecimentos relativamente à tecnologia de rede SDN e perceção das suas vantagens/benefícios com a integração da IA, nas Câmaras Municipais de Portugal. Considera-se, assim, essencial o desenvolvimento de uma *Framework* teórica de apoio ao Desenvolvimento da utilização de Redes SDN com a Integração de IA nos Municípios Portugueses.

## 4.2 Framework

A *Framework* consiste numa representação de como se pretende planear o desenvolvimento da utilização das redes SDN com a integração da IA, nos Municípios portugueses.

Para se desenvolver a *Framework*, primeiro foi necessário perceber qual é o ponto de partida. Para isso foi desenvolvido um inquérito (3), de forma possibilitar perceber qual era o cenário das Municípios quer ao nível de recursos humanos especializados quer ao nível dos conhecimentos que esses mesmos recursos disponham. Por outro lado, também foi importante perceber qual o ponto de situação a nível das infraestruturas de rede, pois é importante perceber se existem Municípios que já têm implementada a tecnologia SDN, sendo que numa etapa seguinte se analisa a possibilidade da integração das redes SDN com a IA.

Após a realização deste trabalho de “investigação”, facilmente se percebeu que quase nenhuma autarquia tem as suas infraestruturas preparadas para a utilização de redes SDN, pois isso obriga a que seja feito um trabalho de atualização e melhoramento das atuais infraestruturas, para que estas sejam capazes de suportar a tecnologia de rede SDN e futuramente ser possível efetuar a sua integração com a IA.

Convém, no entanto, referir que antes de se efetuar o investimento em infraestruturas é importante efetuar investimento em recursos humanos, ou seja, é importante inicialmente apostar na formação dos recursos humanos, assim como na contratação de técnicos qualificados, para depois ser possível utilizar de forma mais eficaz as novas infraestruturas. É,

assim, necessário perceber qual é o ponto de situação em que se encontram as autarquias locais e uma vez que se sabe qual é o ponto de chegada pretendido, definir um plano de ação estratégico para se alcançar os objetivos propostos.

Assim, o plano de ação é constituído pelas 5 etapas seguintes (Figura 4.1):

- 1ª Etapa - Levantamento e Análise de Requisitos;
- 2ª Etapa – Contratação e Formação de Recursos Humanos (RH);
- 3ª Etapa – Investimento em Infraestruturas de Rede SDN;
- 4ª Etapa – Migração para a Tecnologia de Rede SDN;
- 5ª Etapa – Integração das Redes SDN com a IA.

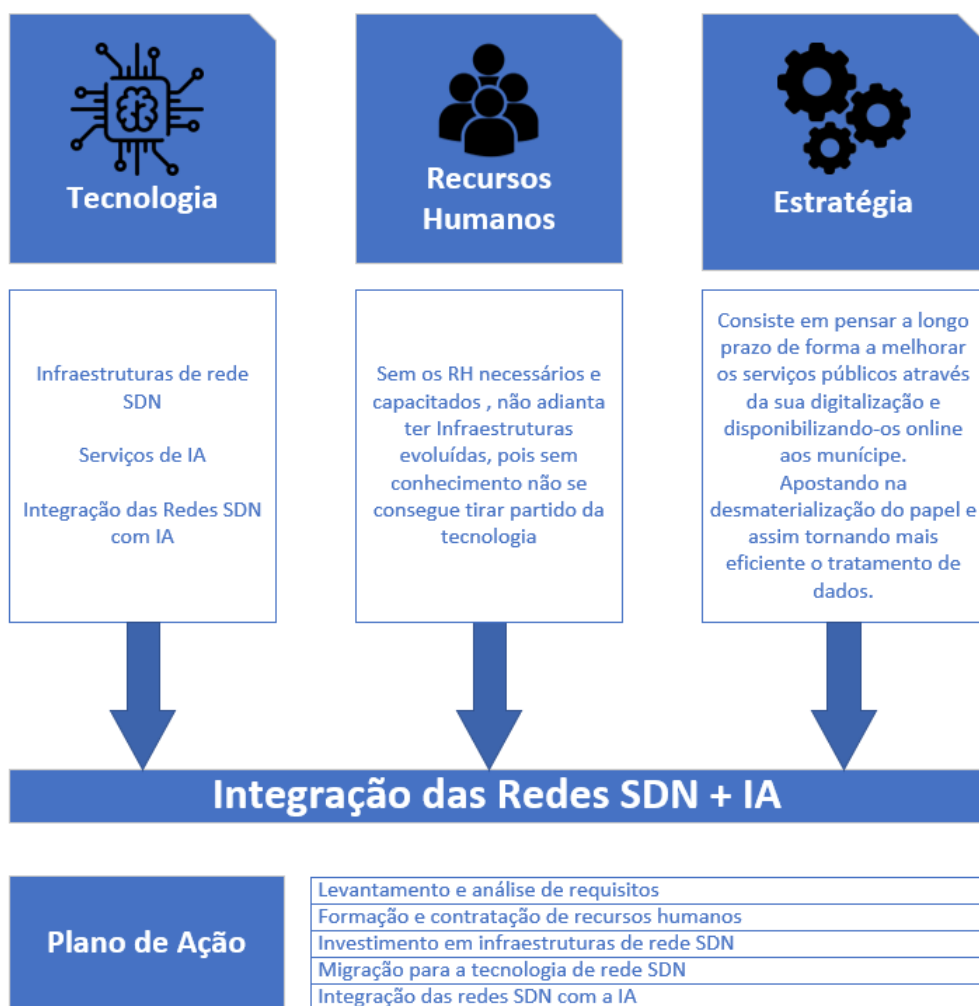


Figura 4.1: Desenho da *Framework*



#### 4.2.1 Tecnologia - Integração das Redes SDN com a IA.

A possibilidade das redes de SDN poderem integrar a IA, permite trazer grandes benefícios, pois vai dotar as redes SDN de mecanismos autónomos e inteligentes para executar certas e determinadas tarefas, permitindo melhorar os serviços disponibilizados ao cidadão.

Um dos pontos fundamentais passa por uma gestão mais eficiente de recursos de rede disponíveis, de modo a melhorar o seu desempenho. Assim a IA pode permitir uma gestão mais eficiente de recursos, através da otimização dos mesmos. As redes SDN tem como principal característica a separação do plano de dados do plano de controlo, tornando a rede programável através de um controlador centralizado, que tem uma visão global sobre a rede. Desta forma, facilita a gestão de recursos da rede, permitindo assim maximizar a utilização desses mesmos recursos [25]. Esta capacidade, permite uma maior disponibilidade dos recursos existentes que conjuntamente com a IA vai possibilitar a disponibilização de mais serviços para o cidadão/utilizador.

Outro grande contributo da IA, é na otimização de rotas de encaminhamento, pois permite efetuar uma melhor e mais eficiente gestão dessas rotas. O encaminhamento é uma função primordial das redes de computadores. Nas redes SDN, o controlador é responsável por controlar o encaminhamento dos fluxos de tráfego e modificar as tabelas de fluxo nos *switches*. Assim, o controlador pode fazer com que os *switches* descartem um certo fluxo de tráfego ou forcem o seu encaminhamento por um determinado caminho específico. Más decisões de encaminhamento podem causar sobrecarga em determinados links de rede e, dessa forma, levar a um aumento no atraso de transmissão de dados e por consequência afetar seriamente o desempenho da rede SDN [25].

Cada vez mais, um dos pontos fulcrais da utilização das redes de computadores está relacionada com uma má qualidade de serviço, ou seja, existe uma maior exigência na qualidade dos serviços prestados. Deve-se, por isso, considerar com um serviço principal o QoS (*Quality of Service*). Este serviço está diretamente relacionado ao desempenho da rede, e aos seguintes parâmetros: taxa de perda, atraso, *jitter* e taxa de transferência. Estas são métricas que refletem os principais indicadores de desempenho da rede. Com a massiva utilização das tecnologias multimédia, a perceção e a satisfação do utilizador são

cada vez mais importantes para os operadores de rede e para os fornecedores de serviço em rede. Uma melhor gestão do QoS suportada em IA, vai permitir conseguir disponibilizar serviços com maior qualidade e manter o utilizador/cliente com um índice de satisfação elevado [25].

Atualmente, o tema da segurança em redes e sistemas informáticos- Cibersegurança - é cada vez mais preponderante. Constantemente aparecem notícias de falhas de segurança, que grandes infraestruturas informáticas/redes de dados de empresas multinacionais foram atacadas e nos mais diversos ramos, como por exemplo no setor das telecomunicações, no setor do comércio a retalho, no setor da saúde, e que esses ataques causam importantes perdas de grandes volumes de dados, grandes prejuízos económicos e que os serviços ficam inoperacionais durante um período de tempo.

Considera-se que a segurança informática consiste na proteção de dados de um sistema, contra o acesso não autorizado, a sua modificação ou a sua destruição, assim como a proteção do próprio sistema contra a utilização, modificação ou negação de serviço [125]. Já, e de acordo com os autores do livro "Introdução a Cibersegurança"[126], o termo Cibersegurança caracteriza-se pelas ações de monitorização, prevenção e neutralização das ameaças que possam por em risco a liberdade dos cidadãos e das empresas, assim como o bem-estar socioeconómico das nações.

A segurança das redes tradicionais depende da segurança dos *hosts* e da utilização de *middleboxes* [127], tais como *firewalls*, sistemas de deteção de intrusão e NAT (*Network Address Translation*). No entanto, as *middleboxes* são frequentemente colocadas nas extremidades da rede, devido à falta de controlo do encaminhamento da rede [128].

Por sua vez, as *middleboxes* podem ser colocadas livremente na rede, como por exemplo numa máquina virtual ou em qualquer servidor físico. As redes SDN podem ser utilizadas para encaminhar o tráfego diretamente para as *middleboxes* e para definir políticas de rede [128, 26] . O sistema operativo de rede do plano de controlo SDN (controlador), integra um sistema de monitorização que permite aos administradores de rede aplicar políticas de segurança a partir de um ponto central, sem a necessidade de configurar cada um dos dispositivos individualmente, permitindo assim um maior controlo dos recursos [129].

A segurança de rede na *Cloud* é mais complicada de implementar e gerir as políticas de segurança, assim como o processo de tomada de decisão e resposta ao tráfego de rede.

A separação do plano de controle no SDN permite novos modelos de segurança de rede [129].

A integração de IA com as redes SDN, permitiria de forma dinâmica avaliar os parâmetros de segurança de uma rede e implementar ações de forma mais rápida e consistente, aumentando o nível de confiabilidade dos sistemas, a disponibilidade do serviço, que seria visto pelos cidadãos como uma melhoria do serviço prestado.

#### **4.2.2 Recursos Humanos**

O mundo empresarial está cada vez mais instável e turbulento, onde existe cada vez mais uma maior competição, dentro e fora das organizações, e onde as mudanças ocorrem de forma cada vez mais rápida [130].

Assim, um dos principais pilares de qualquer organização passa pela gestão de recursos humanos. Esta gestão assume um papel preponderante, pois tem como foco o capital humano, capital esse que tem um papel diferenciador das organizações [130].

Para existir sucesso numa organização é necessário existir articulação entre o potencial dos colaboradores, que fazem parte da organização, e as diversas técnicas de gestão de recursos humanos [130].

Todavia, a par da aposta nos recursos humanos tem de existir um conhecimento correto e preciso sobre as funções existentes na organização e a forma de tomar as melhores decisões possíveis, face às necessidades destes recursos e da organização [130].

Para isso, é necessário efetuar uma análise de funções, onde é possível identificar as tarefas, conhecimentos, aptidões e capacidades dos trabalhadores existentes na organização. Esta análise possibilitará a compreensão das suas forças e das suas limitações. Só com os dados recolhidos dessa análise, permitirá uma gestão de recursos humanos mais e eficiente, eficaz e estratégica [130].

Resumindo, é possível afirmar que os recursos humanos são o principal ativo de qualquer empresa/organização, de qualquer projeto, uma vez que são estes os responsáveis por executar as tarefas com êxito e só assim é possível atingir os objetivos traçados.

Desta forma, é crucial apostar na formação dos recursos humanos, bem como na contratação de recursos qualificados. Estes serão o principal pilar para no futuro serem

implementas as redes SDN com sucesso, bem como a sua integração com IA. Sem recursos humanos capacitados e qualificados, não importa investir na tecnologia, pois não haverá capital humano capaz de a potenciar.

Assim, torna-se fundamental perceber as necessidades dos recursos humanos existentes e em consequência apostar na sua motivação, formação e entreaajuda, isto é promover o trabalho de equipa, uma vez que só dessa forma se conseguirá alcançar as metas traçadas com êxito.

### 4.2.3 Estratégia

Atualmente, com o grande enfoque que põem em causa como são utilizados os recursos da natureza, e com o constante tema das alterações climáticas na ordem do dia, cada vez mais temos de olhar para o mundo da tecnologia como um aliado de peso e a sua utilização permite ao planeta reduzir a pegada ecológica que tanto se fala hoje em dia.

Assim, a estratégia consiste em pensar a longo prazo, de forma a melhorar os serviços públicos através da sua digitalização e disponibilizando-os online aos munícipe, através de um simples "*click*".

Apostando dessa forma na desmaterialização do papel, assim tornando mais eficiente e eficaz o tratamento de dados, quer a nível de pesquisa, armazenamento, processamento, entre outros.

### 4.2.4 Plano de Ação

O plano de Ação da Proposta da *Framework* é descrito em cinco etapas, com o intuito de melhorar a prestação de serviços públicos ao cidadão (Figura 4.2).

Numa primeira etapa é feito o levantamento e análise dos requisitos, quer a nível de recursos humanos, quer a nível de necessidades tecnológicas, basicamente é feito o levantamento de todas as necessidades existentes para por em prática esta proposta de *Framework*.

Na segunda etapa são tratadas as necessidades relativas aos recursos humanos. Por um lado, são apuradas as necessidades de contratação de novos efetivos de acordo com o

perfil traçado e de acordo com as necessidades encontradas, por outro lado, são estudadas as hipóteses de formação para os recursos humanos já existentes, de forma a dar resposta às necessidades que foram identificadas na etapa anterior.

Numa terceira etapa é tratado o investimento em infraestruturas de rede SDN e a sua respetiva implementação. Só quando esta fase estiver finalizada, será possível avançar para a próxima fase.

Na quarta etapa será tratada a migração das redes de computadores tradicionais para a tecnologia de rede SDN. Após a conclusão do processo de migração, e uma vez que esta etapa se encontre estabilizada, permitirá assim pensar na próxima fase.

Por fim, na quinta e última etapa deste processo será implementado o processo de integração das redes SDN com a IA. Esta integração será uma mais valia para as redes SDN, podendo dessa forma retirar mais benefícios.

Em resumo podemos afirmar que este plano de ação pode ser considerado cíclico, pois com a evolução constante da tecnologia, as redes informáticas não são exceção. Conforme, pode ser observado na imagem 4.2.

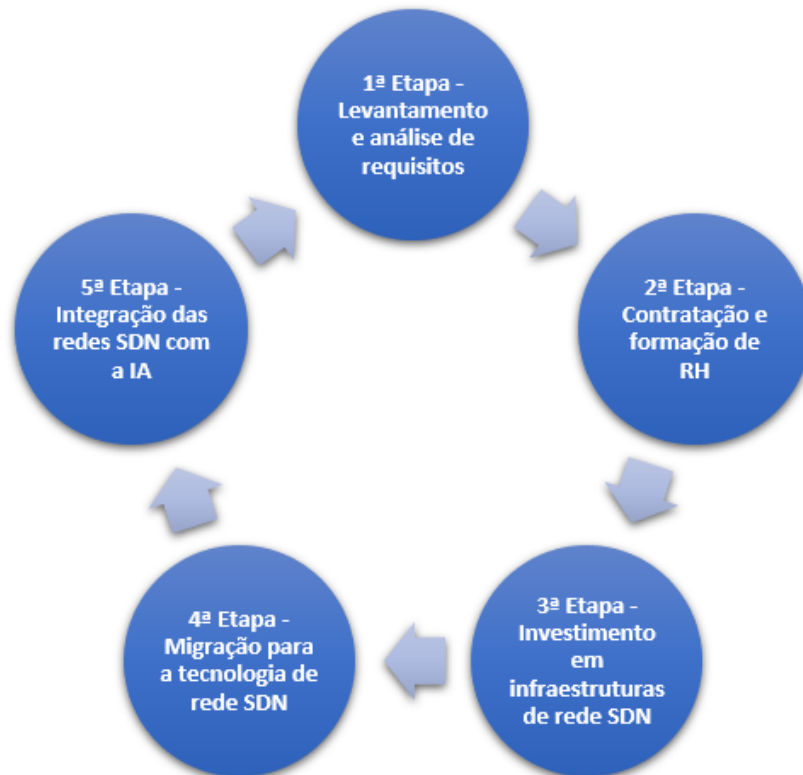


Figura 4.2: Diagrama das Etapas que constituem o Plano de Ação da *Framework*.

Na imagem 4.3 pode-se observar o *roadmap* de implementação do plano de ação *Framework*. Pela observação da *roadmap*, pode-se verificar que só após a conclusão da primeira etapa é que se pode avançar para a 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> etapa, sendo que estas podem ser desenvolvidas em simultâneo, pois uma não depende da outra. O avanço para a 4<sup>a</sup> etapa está pendente da conclusão da 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> etapas, já que só quando tivermos os recursos humanos necessários e concluído o investimento nas infraestruturas de rede SDN é que se torna possível avançar para a migração (4<sup>a</sup> etapa).

O mesmo acontece com a 5<sup>a</sup> etapa e última do plano de ação, isto é, só se pode avançar para esta etapa quando a migração (4<sup>a</sup> etapa) estiver concluída.

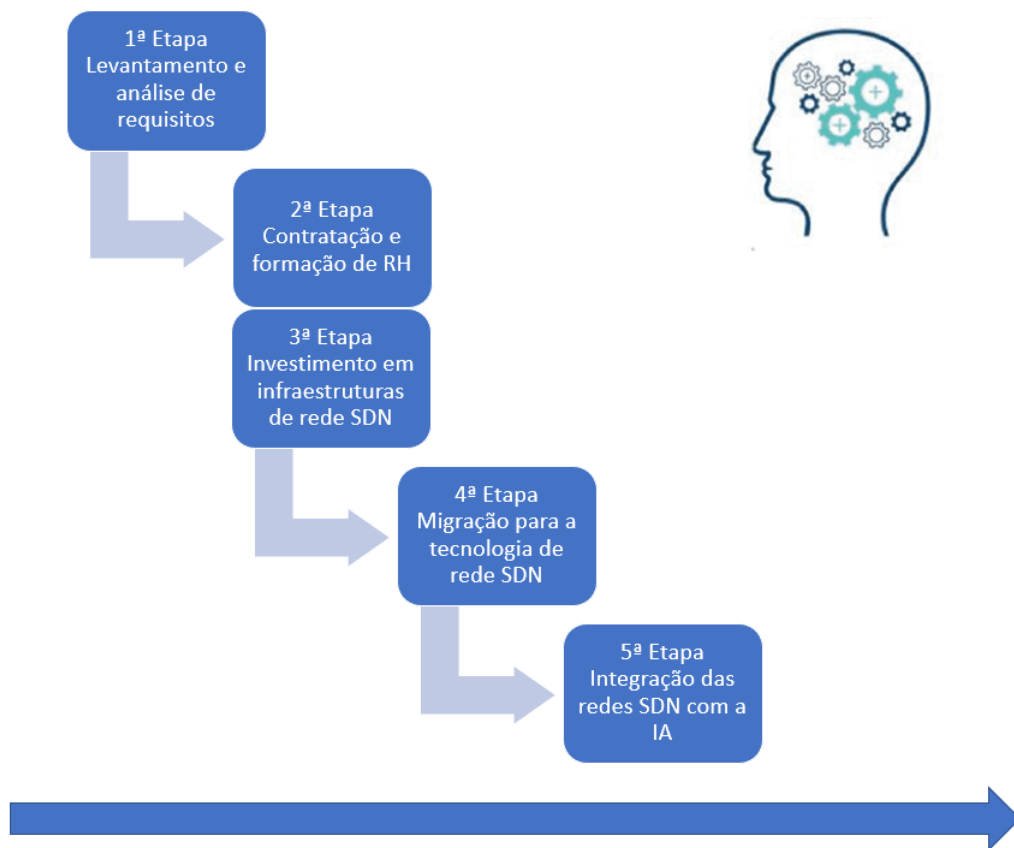


Figura 4.3: *Roadmap* de Implementação do Plano de Ação da *Framework*

### 4.3 Conclusão

O desenho da *Framework* foi suportado com a informação recolhida no inquérito realizado anteriormente (capítulo 3). Após se ter percebido o estado de maturidade das redes informáticas e os conhecimentos/formação dos recursos humanos existentes nas diversas câmaras municipais que participaram neste estudo, foi possível desenhar a respetiva *Framework* de forma a dar resposta às necessidades que foram identificadas através da conclusão do estudo dos resultados do respetivo inquérito.

## Capítulo 5

# Conclusão

O principal objetivo no desenvolvimento desta dissertação, passa por perceber o estado de conhecimento dos gestores de redes de computadores nos municípios portugueses, quer a nível de desenvolvimento tecnológico, quer a nível de conhecimentos técnicos dos na área de redes informáticas SDN. Por outro lado, também era de importante entender se a integração da IA nas redes SDN era vista como uma ferramenta que potenciase uma mais eficiente utilização dos recursos disponibilizados.

Assim sendo do capítulo 2, Estado da Arte, é feita uma apresentação da IA e das técnicas de ML, depois é feita um apresentação das redes SDN e o seu funcionamento. De seguida, são apresentadas as dificuldades da integração das redes informáticas tradicionais com a IA e por fim são apresentados os principais benefícios que os algoritmos de ML podem introduzir nas redes SDN.

No seguimento do objetivo inicial, foi elaborado um inquérito distribuído pelas 308 câmaras municipais de Portugal com o intuito perceber a realidade desses municípios, quer a nível dos conhecimentos técnicos dos seus recursos humanos na área da gestão das redes, quer a nível de desenvolvimento tecnológico desses mesmos municípios. O inquérito permitiu também perceber como era percebida a integração da IA com as redes SDN.

Com base nos resultados obtidos no inquérito, descrito no capítulo 4, foi criada uma *Framework* para dar resposta às necessidades e lacunas anteriormente identificadas. Sendo também elaborado um plano de ação integrado na *Framework* de forma a dar resposta às necessidades encontradas.

A *Framework* encontra-se dividida em 4 partes, que são as seguintes, recursos humanos,



tecnologia, estratégia e plano de ação. Por conseguinte e de forma a alcançar os objetivos traçados nesta dissertação, foi traçado um plano de ação de forma a permitir alcançar a meta traçada inicial. Assim sendo, plano de ação está dividido em 5 etapas que são as seguintes, 1<sup>a</sup> etapa consiste em efetuar o levantamento e análise de requisitos, a 2<sup>a</sup> etapa consiste na contratação e formação de recursos humanos, a 3<sup>a</sup> etapa passa pelo investimento em infraestruturas de rede SDN, após a conclusão da 3<sup>a</sup> etapa passamos à 4<sup>a</sup> etapa que consiste na migração para a tecnologia de redes SDN e por fim temos a 5<sup>a</sup> e última etapa que passa pela a integração da inteligência artificial nas redes SDN.

Permitindo assim alcançar o objetivo, que dentro de 5 a 6 anos, todos os municípios portugueses, estejam a um nível equivalente, isto é, que conheçam estas tecnologias e quais as suas potencialidades que podem ter na prestação de serviços ao cidadão.

## 5.1 Limitações

No que diz respeito às limitações sentidas ao longo do desenvolvimento desta dissertação, pode-se referir que apesar de as palavras-chave terem sido reajustadas várias vezes, é possível que alguns artigos relevantes não tenham sido incluídos na revisão, pelo que não foram analisados.

A nível do inquérito realizado, o facto de só terem respondido 113 municípios num universo de 308 câmaras municipais, o que representa uma taxa de participação na casa dos 37%, isto é, pouco mais de um terço das entidades inquiridas. Embora este valor em termos estatísticos é bastante relevante.

Outra das limitações prende-se pelo facto de não ter sido possível testar em contexto real a *Framework* proposta, pois estas infraestruturas nos municípios encontram-se em pleno funcionamento, logo seria necessária toda uma articulação minuciosa para efetuar esta migração de forma a evitar falhas e passar de uma forma despercebida. Salientando-se ainda que a aplicação da *Framework* acarreta sempre um prazo de desenvolvimento consideravelmente longo.

## 5.2 Trabalho Futuro

A revisão bibliográfica demonstrou que uma grande variedade de conceito, temas, problemas e soluções já se encontram a ser debatidos sob abordagens muito diferentes dos mais variados autores. No entanto, existem várias vias e oportunidades de investigação de forma a aprofundar os conhecimentos da integração da IA com as redes SDN e dessa forma tirar ainda mais partido.

De forma a ser possível tirar o máximo partido da *Framework* proposta, deve ser definido um plano escrupuloso para implementação das redes SDN nos municípios portugueses com a integração da IA. Após a definição deste plano seria de todo pertinente encontrar um município piloto de forma a por em prática as etapas proposta no plano de ação da *Framework* e fazer um teste real.



# Referências

- [1] Abdul Mohssen Jaber Abdul Hossen, Mohamed Najem Abdual e Mohammad Qasim. “An artificial intelligence applications into software defined networking”. Em: *International Journal of Advanced Science and Technology* 29.5 Special Issue (2020), pp. 1133–1146. ISSN: 22076360.
- [2] O.N.F. “Software-defined networking: The new norm for networks”. Em: *ONF White Paper 2* (2012), pp. 2–6.
- [3] Pamela McCorduck. *Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence*. AK Peters Ltd, 2004. ISBN: 1568812051.
- [4] Helder Coelho. *Sonho e Razão*. Relógio d’Água, 1999. ISBN: 9789727085187.
- [5] Majd Latah e Levent Toker. “Application of Artificial Intelligence to Software Defined Networking: A Survey”. Em: *Indian Journal of Science and Technology* 9.44 (nov. de 2016). ISSN: 0974-5645. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i44/89812. URL: <https://indjst.org/articles/application-of-artificial-intelligence-to-software-defined-networking-a-survey>.
- [6] Hannah Snyder. “Literature review as a research methodology: An overview and guidelines”. Em: *Journal of Business Research* 104 (2019), pp. 333–339. ISSN: 0148-2963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296319304564>.
- [7] Francisco Paulo do Nascimento. “Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos”. Em: *Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC* (2016), pp. 1–11. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296319304564>.

//franciscopaulo.com.br/arquivos/Classifica%7B%5Cc%7Bc%7D%7D%7B%5C~%7Ba%7D%7Do%20da%20Pesquisa.pdf.

- [8] Mark Saunders et al. “Research Methods for Business Students” Chapter 4: Understanding research philosophy and approaches to theory development”. Em: mar. de 2019, pp. 128–171. ISBN: 9781292208787.
- [9] Claes Wohlin. “Case Study Research in Software Engineering—It is a Case, and it is a Study, but is it a Case Study?” Em: *Information and Software Technology* 133 (jan. de 2021), p. 106514. DOI: 10.1016/j.infsof.2021.106514.
- [10] Antonio Carlos GIL e Sylvia Constant VERGARA. “Tipo de pesquisa”. Em: *Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul* (2015).
- [11] Jorge Soares. “Uma breve viagem pela Inteligência Artificial”. Em: *Revista de Ciências da Computação* 14 (2019), pp. 1–34. ISSN: 2182-1801. DOI: 10.34627/rcc.v14i0.180.
- [12] Inês Almeida Francisco. “Inteligência artificial no local de trabalho: dimensões da sua intervenção”. Tese de doutoramento. Católica Porto Business School, 2019, p. 112. URL: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/28384>.
- [13] Andreas Kaplan e Michael Haenlein. “Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence”. Em: *Business Horizons* 62 (nov. de 2018). DOI: 10.1016/j.bushor.2018.08.004.
- [14] Christoph Bartneck et al. *An Introduction to Ethics in Robotics and AI*. Vol. 21. 32. Springer, 2019, pp. 42–46. ISBN: 978-3-030-51109-8. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-51110-4>.
- [15] D.L. Poole e A.K. Mackworth. *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*. Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents. Cambridge University Press, 2010. ISBN: 9780521519007. URL: [https://books.google.pt/books?id=eALhh%5C\\_tkpv4C](https://books.google.pt/books?id=eALhh%5C_tkpv4C).
- [16] R. Kurzweil. “What Is Artificial Intelligence Anyway”. Em: *American Scientist* 73.3 (1985), p. 258.

- [17] P. Novais e M. Freitas. “Inteligência Artificial e Regulação de algoritmos”. Em: *Diálogos União Europeia . Brasil* (2018), p. 93. URL: [https://etica.uazuay.edu.ec/sites/etica.uazuay.edu.ec/files/public/49f7d3\\_Intelig%7B%5C%5E%7Be%7D%7Dncia%20Artificial%20e%20Regula%7B%5Cc%7Bc%7D%7D%7B%5C%7Ba%7D%7Do%20de%20Algoritmos.pdf](https://etica.uazuay.edu.ec/sites/etica.uazuay.edu.ec/files/public/49f7d3_Intelig%7B%5C%5E%7Be%7D%7Dncia%20Artificial%20e%20Regula%7B%5Cc%7Bc%7D%7D%7B%5C%7Ba%7D%7Do%20de%20Algoritmos.pdf).
- [18] G.F. Luger e W.A. Stubblefield. *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. World student series. Addison-Wesley, 1998. ISBN: 9780805311969. URL: <https://books.google.pt/books?id=OXZQAAAAMAAJ>.
- [19] Ernesto Costa e Anabela Simões. *INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES*. 2ª Edição. FCA, 2008, p. 640. ISBN: 978-972-722-340-4.
- [20] Stuart J. Russell e Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th Edition)*. 4ª ed. Pearson, 2020. ISBN: 9780134610993. URL: <http://aima.cs.berkeley.edu/>.
- [21] Hugo Luís Leitão Teixeira Rodrigues. “Utilização de mecanismos de inteligência artificial para a monitorização do processo de moldação por injeção”. Tese de doutoramento. Universidade do Minho, 2021. DOI: 202676358. URL: <http://hdl.handle.net/1822/72678>.
- [22] Mariette Awad e Rahul Khanna. “Machine Learning”. Em: *Efficient Learning Machines: Theories, Concepts, and Applications for Engineers and System Designers*. Berkeley, CA: Apress, 2015, pp. 1–18. ISBN: 978-1-4302-5990-9. DOI: 10.1007/978-1-4302-5990-9\_1. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9%7B%5C\\_%7D1](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9%7B%5C_%7D1).
- [23] Pat Langley. “The changing science of machine learning”. Em: *Machine Learning* 82.3 (2011), pp. 275–279. ISSN: 08856125. DOI: 10.1007/s10994-011-5242-y.
- [24] Jorge Ribeiro. *Slides das Aulas Machine Learning*. 2020.
- [25] Junfeng Xie et al. “A survey of machine learning techniques applied to software defined networking (SDN): Research issues and challenges”. Em: *IEEE Communications Surveys and Tutorials* 21.1 (2019), pp. 393–430. DOI: 10.1109/COMST.2018.2866942.

- [26] Majd Latah e Levent Toker. “Artificial intelligence enabled software-defined networking: A comprehensive overview”. Em: *IET Networks* 8.2 (2019), pp. 79–99. ISSN: 20474962. DOI: 10.1049/iet-net.2018.5082. arXiv: 1803.06818.
- [27] Daniel Kirsch e Judith Hurwitz. *Machine Learning For Dummies, IBM Limited Edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2018, p. 68. ISBN: 9781119454953. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/GB8ZMQZ3>.
- [28] Yanling Zhao et al. “A Survey of Networking Applications Applying the Software Defined Networking Concept Based on Machine Learning”. Em: *IEEE Access* 7 (2019), pp. 95397–95417. ISSN: 21693536. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2928564.
- [29] Richard S Sutton e Andrew G Barto. *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press, 2018.
- [30] Jean-Emmanuel Bibault, Philippe Giraud e Anita Burgun. “Big Data and machine learning in radiation oncology: State of the art and future prospects”. Em: *Cancer Letters* 382.1 (2016), pp. 110–117. ISSN: 0304-3835. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2016.05.033>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304383516303469>.
- [31] Petar Kormushev, Sylvain Calinon e Darwin G. Caldwell. “Reinforcement Learning in Robotics: Applications and Real-World Challenges”. Em: *Robotics* 2.3 (2013), pp. 122–148. ISSN: 2218-6581. DOI: 10.3390/robotics2030122. URL: <https://www.mdpi.com/2218-6581/2/3/122>.
- [32] Paul Shapshak. “Artificial Intelligence and brain”. Em: *Bioinformation* 14 (2018), pp. 38–41.
- [33] Francisco Rodrigues. “A Inteligência Artificial na Defesa Nacional”. 2018.
- [34] Randall D. Beer. “Dynamical systems and embedded cognition”. Em: *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence*. Ed. por Keith Frankish e William M. Editors Ramsey. Cambridge University Press, 2014, pp. 128–148. DOI: 10.1017/CB09781139046855.009.

- [35] A. M. TURING. “I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE”. Em: *Mind* LIX.236 (out. de 1950), pp. 433–460. ISSN: 0026-4423. DOI: 10.1093/mind/LIX.236.433. eprint: <https://academic.oup.com/mind/article-pdf/LIX/236/433/30123314/lix-236-433.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.
- [36] Michael. Negnevitsky. *A guide to intelligent systems*. Pearson Ed. 2005.
- [37] John McCarthy, M L Minsky e C E Shannon. “A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence - August 31, 1955”. Em: *Ai Magazine* 27.4 (1955), pp. 12–14.
- [38] Daniel Crevier. *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*. Jan. de 1993, pp. 1–386.
- [39] Leo Gugerty. “Newell and Simon ’ s Logic Theorist : Historical Background and Impact on Cognitive Modeling NEWELL AND SIMON ’ S LOGIC THEORIST : HISTORICAL BACKGROUND AND IMPACT ON COGNITIVE MODELING Fifty years ago , Newell and Simon ( 1956 ) invented a “ thinking mac””. Em: May (2017). DOI: 10.1177/154193120605000904.
- [40] Peter Norvig. *Paradigms of Artificial Intelligence Programming*. Ed. por Peter Norvig. San Francisco (CA): Morgan Kaufmann, 1992. ISBN: 978-0-08-057115-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-27663-X>.
- [41] J Epstein e W.D Klinkenberg. “From Eliza to Internet: a brief history of computerized assessment”. Em: *Computers in Human Behavior* (2001). ISSN: 0747-5632. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(01\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(01)00004-8). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563201000048>.
- [42] Goncalo Pereira, Jose Silva e Pedro Sousa. “Comparative Study of Software-Defined Networking (SDN) Traffic Controllers”. Em: *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. IEEE, jun. de 2019, pp. 1–6. ISBN: 978-9-8998-4349-3. DOI: 10.23919/CISTI.2019.8760997. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8760997/>.



- [43] Fetia Bannour, Sami Souihi e Abdelhamid Mellouk. “Distributed SDN Control: Survey, Taxonomy, and Challenges”. Em: *IEEE Communications Surveys and Tutorials* 20.1 (2018), pp. 333–354. ISSN: 1553877X. DOI: 10.1109/COMST.2017.2782482.
- [44] Diego Kreutz et al. “Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey”. Em: *Proceedings of the IEEE* 103.1 (jan. de 2015), pp. 14–76. ISSN: 0018-9219. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2371999. arXiv: 1406.0440. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6994333/>.
- [45] Rita Martinho. “Dynamic Quality-of-Service Management Under Software-Defined Networking Architectures”. Tese de doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2021. DOI: 487800. URL: <https://hdl.handle.net/10216/135563>.
- [46] Diana Marisa Ribeiro da Cunha. “Comunicação Anycast em redes definidas por software”. Tese de doutoramento. 2017, p. 107. URL: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/46394>.
- [47] Anthony Jonathan da Silva Leal. “Desenvolvimento de Mecanismos de Engenharia de Tráfego em Data Centers através de SDN”. Tese de doutoramento. Universidade do Minho, 2016.
- [48] Talal Alharbi, Marius Portmann e Farzaneh Pakzad. “The (in)security of Topology Discovery in Software Defined Networks”. Em: *2015 IEEE 40th Conference on Local Computer Networks (LCN)*. IEEE, out. de 2015, pp. 502–505. ISBN: 978-1-4673-6770-7. DOI: 10.1109/LCN.2015.7366363. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7366363/>.
- [49] David Alexandre Figueira Pernes. “Aplicações sobre redes definidas por Software baseadas em OpenFlow”. Tese de doutoramento. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016. DOI: 202482740. URL: <http://hdl.handle.net/10400.21/11692>.
- [50] Gabriel Henrique Montezelo. “Práticas Laboratoriais em SDN usando Mininet e POX”. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Uberlândia, 2017, p. 54. URL: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19515>.

- [51] Natasha Gude et al. “NOX: Towards an Operating System for Networks”. Em: *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 38.3 (jul. de 2008), pp. 105–110. ISSN: 0146-4833. DOI: 10.1145/1384609.1384625. URL: <https://doi.org/10.1145/1384609.1384625>.
- [52] Joshua Reich et al. “Modular SDN programming with pyretic”. Em: *USENIX Login* 38 (jan. de 2013), pp. 128–134.
- [53] Michael Borokhovich e Stefan Schmid. “Provable Data Plane Connectivity with Local Fast Failover Introducing OpenFlow Graph Algorithms”. Em: (2014), pp. 121–126.
- [54] Basem Almadani, Abdurrahman Beg e Ashraf Mahmoud. “DSF: A distributed SDN control plane framework for the East/West interface”. Em: *IEEE Access* PP (fev. de 2021), pp. 1–1. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3057690.
- [55] Michael Jarschel et al. “Interfaces, attributes, and use cases: A compass for SDN”. Em: *IEEE Communications Magazine* 52.6 (2014), pp. 210–217. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6829966.
- [56] Jacob H. Cox et al. “Advancing Software-Defined Networks: A Survey”. Em: *IEEE Access* 5 (2017), pp. 25487–25526. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762291.
- [57] Jorge Baranda, Av Carl e Friedrich Gauss. “Applying backpressure to balance resource usage in software-defined wireless backhauls”. Em: *BackNets* (2015), pp. 31–36.
- [58] Paul Goransson, Chuck Black e Timothy Culver. *Software defined networks: a comprehensive approach*. Morgan Kaufmann, 2016. ISBN: 978-0-12-804555-8.
- [59] Open Networking Foundation. “OpenFlow Switch Specification 1.0.0 (Wire Protocol 0x01).” Em: *Current* 0 (2009), pp. 1–36. ISSN: 09226389. arXiv: 1512.00567. URL: <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/04/openflow-spec-v1.0.0.pdf>.
- [60] Henrique Santos Fernandes. “Provendo Segurança em Redes Definidas por Software Através da Integração com Sistemas de Detecção e Prevenção de Intrusão Provendo Segurança em Redes Definidas por Software Através da Integração com

- Sistemas de Detecção e Prevenção de Intrusão”. Tese de doutoramento. Fluminense, Universidade Federal, 2016. URL: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/3939>.
- [61] Open Networking Foundation. “OpenFlow Switch Specification (Version 1.5.1)”. 2015. URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-switch-v1.5.1.pdf>.
- [62] Nick McKeown et al. “OpenFlow”. Em: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 38.2 (mar. de 2008), pp. 69–74. ISSN: 0146-4833. DOI: 10.1145/1355734.1355746. URL: <https://doi.org/10.1145/1355734.1355746>.
- [63] Gécica Fontenele Torquato. “Openflow, Balanceamento De Carga Em SDN Utilizando Tabelas De Grupo”. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Escola de Informática Aplicada, 2019.
- [64] Fernando López Rodríguez. “Arquitetura e Prototipo de Uma Rede SDN-OpenFlow Para Provedor de Serviços”. Tese de doutoramento. 2014, p. 59.
- [65] Gustavo Pantuza. “Grafos Como Uma Primitiva do Plano de Controle para Análise e Gerenciamento de Redes Definidas por Software”. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
- [66] Md Shahjalal et al. “A Generalized SDN Framework for Optical Wireless Communication Networks”. Em: *9th International Conference on Information and Communication Technology Convergence: ICT Convergence Powered by Smart Intelligence, ICTC 2018*. IEEE, 2018, pp. 848–851. ISBN: 9781538650400. DOI: 10.1109/ICTC.2018.8539683.
- [67] Eliseu Torres et al. “A SDN/OpenFlow Framework for Dynamic Resource Allocation based on Bandwidth Allocation Model”. Em: *IEEE Latin America Transactions* 18.5 (2020), pp. 853–860. ISSN: 15480992. DOI: 10.1109/TLA.2020.9082913. arXiv: 2102.00460.

- [68] Luis Moutinho, Paulo Pedreiras e Luis Almeida. “A Real-Time Software Defined Networking Framework for Next-Generation Industrial Networks”. Em: *IEEE Access* 7 (2019), pp. 164468–164479. ISSN: 21693536. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2952242.
- [69] Joshua Alcorn, Scott Melton e C Edward Chow. “A Framework for SDN Network Evaluation”. Em: *Proceedings - 47th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops, DSN-W 2017*. 2017, pp. 111–112. ISBN: 9781538622728. DOI: 10.1109/DSN-W.2017.36. arXiv: arXiv:1308.3559.
- [70] Rafael Gouveia et al. “SDN framework for connectivity services”. Em: *2014 IEEE International Conference on Communications, ICC 2014*. 2014, pp. 3058–3063. ISBN: 9781479920037. DOI: 10.1109/ICC.2014.6883790.
- [71] Sarah Abdallah et al. “A Network Management Framework for SDN”. Em: *2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security, NTMS 2018 - Proceedings*. Vol. 2018-Janua. IEEE, 2018, pp. 1–4. ISBN: 9781538636626. DOI: 10.1109/NTMS.2018.8328672.
- [72] Prabhakar Krishnan, Jisha S Najeem e Krishnashree Achuthan. “SDN framework for securing IoT networks”. Em: *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*. Vol. 218. 2018, pp. 116–129. ISBN: 9783319734224. DOI: 10.1007/978-3-319-73423-1\_11.
- [73] Debashis Das et al. “Blockchain Enabled SDN Framework for Security Management in 5G Applications”. Em: *ACM International Conference Proceeding Series*. 2023, pp. 414–419. ISBN: 9781450397964. DOI: 10.1145/3571306.3571445.
- [74] Aipeng Guo et al. “Research on SDN/NFV Network Traffic Management and Optimization based on Big Data and Artificial Intelligence”. Em: *ISCIT 2018 - 18th International Symposium on Communication and Information Technology* September 2018 (2018), pp. 377–382. DOI: 10.1109/ISCIT.2018.8587985.
- [75] Albert Mestres et al. “Knowledge-defined networking”. Em: *Computer Communication Review* 47.3 (2017), pp. 1–10. ISSN: 19435819. DOI: 10.1145/3138808.3138810. arXiv: 1606.06222.

- [76] Kashvi Taunk et al. “A Brief Review of Nearest Neighbor Algorithm for Learning and Classification”. Em: *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*. 2019, pp. 1255–1260. DOI: 10.1109/ICCS45141.2019.9065747.
- [77] Madan Somvanshi et al. “A review of machine learning techniques using decision tree and support vector machine”. Em: *2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA)*. 2016, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICCUBEA.2016.7860040.
- [78] Bahzad Charbuty e Adnan Abdulazeez. “Classification based on decision tree algorithm for machine learning”. Em: *Journal of Applied Science and Technology Trends* 2.01 (2021), pp. 20–28.
- [79] Batta Mahesh. “Machine learning algorithms-a review”. Em: *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]* 9 (2020), pp. 381–386.
- [80] Alex Teloken et al. “Estudo Comparativo entre os algoritmos de Mineração de Dados Random Forest e J48 na tomada de Decisão”. Em: *Simpósio de Pesquisa e Desenvolvimento em Computação 2.1* (2016).
- [81] Liehuang Zhu et al. “Privacy-Preserving DDoS Attack Detection Using Cross-Domain Traffic in Software Defined Networks”. Em: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 36.3 (2018), pp. 628–643. DOI: 10.1109/JSAC.2018.2815442.
- [82] Ke Bao et al. “Intelligent Software-Defined Mesh Networks With Link-Failure Adaptive Traffic Balancing”. Em: *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking* 4.2 (2018), pp. 266–276. DOI: 10.1109/TCCN.2018.2790974.
- [83] Yao Yu et al. “An Efficient SDN-Based DDoS Attack Detection and Rapid Response Platform in Vehicular Networks”. Em: *IEEE Access* 6 (2018), pp. 44570–44579. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2854567.
- [84] Dingwen Hu, Peilin Hong e Yixin Chen. “FADM: DDoS Flooding Attack Detection and Mitigation System in Software-Defined Networking”. Em: *GLOBECOM 2017*

- *2017 IEEE Global Communications Conference*. 2017, pp. 1–7. DOI: 10.1109/GLOCOM.2017.8254023.
- [85] P. Gupta e N. McKeown. “Classifying packets with hierarchical intelligent cuttings”. Em: *IEEE Micro* 20.1 (2000), pp. 34–41. DOI: 10.1109/40.820051.
- [86] Sumeet Singh et al. “Packet Classification Using Multidimensional Cutting”. Em: *Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*. SIGCOMM '03. Karlsruhe, Germany: Association for Computing Machinery, 2003, pp. 213–224. ISBN: 1581137354. DOI: 10.1145/863955.863980. URL: <https://doi.org/10.1145/863955.863980>.
- [87] Balajee Vamanan, Gwendolyn Voskuilen e T. N. Vijaykumar. “EffiCuts: Optimizing Packet Classification for Memory and Throughput”. Em: *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 40.4 (ago. de 2010), pp. 207–218. ISSN: 0146-4833. DOI: 10.1145/1851275.1851208. URL: <https://doi.org/10.1145/1851275.1851208>.
- [88] Wenjun Li et al. “CutSplit: A Decision-Tree Combining Cutting and Splitting for Scalable Packet Classification”. Em: *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications*. 2018, pp. 2645–2653. DOI: 10.1109/INFOCOM.2018.8485947.
- [89] Sorrachai Yingchareonthawornchai et al. “A Sorted-Partitioning Approach to Fast and Scalable Dynamic Packet Classification”. Em: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 26.4 (2018), pp. 1907–1920. DOI: 10.1109/TNET.2018.2852710.
- [90] Dragos Comaneci e Ciprian Dobre. “Securing Networks Using SDN and Machine Learning”. Em: *2018 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE)*. 2018, pp. 194–200. DOI: 10.1109/CSE.2018.00034.
- [91] Peng Xiao et al. “An efficient elephant flow detection with cost-sensitive in SDN”. Em: *2015 1st International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems (INISCom)*. 2015, pp. 24–28. DOI: 10.4108/icst.iniscom.2015.258274.
- [92] Bing Leng et al. “A decision-tree-based on-line flow table compressing method in Software Defined Networks”. Em: *2016 IEEE/ACM 24th International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*. 2016, pp. 1–2. DOI: 10.1109/IWQoS.2016.7590401.

- [93] Rahul Gomes, Mostofa Ahsan e Anne Denton. “Random Forest Classifier in SDN Framework for User-Based Indoor Localization”. Em: *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*. 2018, pp. 0537–0542. DOI: 10.1109/EIT.2018.8500111.
- [94] Tsung-Han Lei et al. “Deploying QoS-assured service function chains with stochastic prediction models on VNF latency”. Em: *2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*. 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/NFV-SDN.2017.8169837.
- [95] Rashid Mijumbi et al. “Network Function Virtualization: State-of-the-Art and Research Challenges”. Em: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18.1 (2016), pp. 236–262. DOI: 10.1109/COMST.2015.2477041.
- [96] Qiumei Cheng et al. “Guarding the Perimeter of Cloud-Based Enterprise Networks: An Intelligent SDN Firewall”. Em: *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*. 2018, pp. 897–902. DOI: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00149.
- [97] Lohit Barki et al. “Detection of distributed denial of service attacks in software defined networks”. Em: *2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. 2016, pp. 2576–2581. DOI: 10.1109/ICACCI.2016.7732445.
- [98] Po-Ching Lin, Ping-Chung Li e Van Linh Nguyen. “Inferring OpenFlow rules by active probing in software-defined networks”. Em: *2017 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. 2017, pp. 415–420. DOI: 10.23919/ICACT.2017.7890123.
- [99] Hailan Kuang et al. “A Hierarchical K-Means Algorithm for Controller Placement in SDN-Based WAN Architecture”. Em: *2018 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*. 2018, pp. 263–267. DOI: 10.1109/ICMTMA.2018.00070.

- [100] Lei Zhu, Rong Chai e Qianbin Chen. “Control plane delay minimization based SDN controller placement scheme”. Em: *2017 9th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*. 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/WCSP.2017.8171153.
- [101] Bala Prakasa Rao Killi, Ellore Akhil Reddy e Seela Veerabhadreswara Rao. “Cooperative game theory based network partitioning for controller placement in SDN”. Em: *2018 10th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS)*. 2018, pp. 105–112. DOI: 10.1109/COMSNETS.2018.8328186.
- [102] Guodong Wang et al. “A K-means-based network partition algorithm for controller placement in software defined network”. Em: *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. 2016, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICC.2016.7511441.
- [103] Zhong Fan e Ran Liu. “Investigation of machine learning based network traffic classification”. Em: *2017 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*. 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ISWCS.2017.8108090.
- [104] Anuja Priyam et al. “Comparative analysis of decision tree classification algorithms”. Em: *International Journal of current engineering and technology* 3.2 (2013), pp. 334–337.
- [105] Mohiuddin Ahmed, Raihan Seraj e Syed Mohammed Shamsul Islam. “The k-means Algorithm: A Comprehensive Survey and Performance Evaluation”. Em: *Electronics* 9.8 (2020). ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics9081295. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/8/1295>.
- [106] Luis Gomez-Chova et al. “Semisupervised Image Classification With Laplacian Support Vector Machines”. Em: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 5.3 (2008), pp. 336–340. DOI: 10.1109/LGRS.2008.916070.
- [107] Pu Wang, Shih-Chun Lin e Min Luo. “A Framework for QoS-aware Traffic Classification Using Semi-supervised Machine Learning in SDNs”. Em: *2016 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)*. 2016, pp. 760–765. DOI: 10.1109/SCC.2016.133.



- [108] Marco Wiering e Martijn Van Otterlo. *Reinforcement Learning: State of the Art*. English. Springer, 2012. ISBN: 978-3-642-27644-6. DOI: 10.1007/978-3-642-27645-3.
- [109] Yuxi Li. “Deep Reinforcement Learning”. Em: (out. de 2018). DOI: 10.48550/arxiv.1810.06339. arXiv: 1810.06339. URL: <http://arxiv.org/abs/1810.06339>.
- [110] Jianqing Fan et al. “A Theoretical Analysis of Deep Q-Learning”. Em: *Proceedings of the 2nd Conference on Learning for Dynamics and Control*. Ed. por Alexandre M. Bayen et al. Vol. 120. Proceedings of Machine Learning Research. PMLR, jun. de 2020, pp. 486–489. URL: <https://proceedings.mlr.press/v120/yang20a.html>.
- [111] Ziyao Zhang et al. “Q-Placement: Reinforcement-Learning-Based Service Placement in Software-Defined Networks”. Em: *2018 IEEE 38th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*. 2018, pp. 1527–1532. DOI: 10.1109/ICDCS.2018.00159.
- [112] Lauren S. R. Sampaio et al. “Using NFV and Reinforcement Learning for Anomalies Detection and Mitigation in SDN”. Em: *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. 2018, pp. 00432–00437. DOI: 10.1109/ISCC.2018.8538614.
- [113] Cheng Wang et al. “SDCoR: Software Defined Cognitive Routing for Internet of Vehicles”. Em: *IEEE Internet of Things Journal* 5.5 (2018), pp. 3513–3520. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2812210.
- [114] Josiah Chavula, Melissa Densmore e Hussein Suleman. “Using SDN and reinforcement learning for traffic engineering in UbuntuNet Alliance”. Em: *2016 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)*. 2016, pp. 349–355. DOI: 10.1109/ICACCE.2016.8073774.
- [115] Sandra Sendra et al. “Including artificial intelligence in a routing protocol using Software Defined Networks”. Em: *2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*. 2017, pp. 670–674. DOI: 10.1109/ICCW.2017.7962735.

- [116] Frederic Francois e Erol Gelenbe. “Optimizing Secure SDN-Enabled Inter-Data Centre Overlay Networks through Cognitive Routing”. Em: *2016 IEEE 24th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*. 2016, pp. 283–288. DOI: 10.1109/MASCOTS.2016.26.
- [117] Pengcheng Tang et al. “Efficient Auto-Scaling Approach in the Telco Cloud Using Self-Learning Algorithm”. Em: *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. 2015, pp. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOM.2015.7417181.
- [118] Xiaohong Huang et al. “Deep Reinforcement Learning for Multimedia Traffic Control in Software Defined Networking”. Em: *IEEE Network* 32.6 (2018), pp. 35–41. DOI: 10.1109/MNET.2018.1800097.
- [119] Qiong Xiao Fu et al. “Deep Q-Learning for Routing Schemes in SDN-Based Data Center Networks”. Em: *IEEE Access* 8 (2020), pp. 103491–103499. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2995511.
- [120] “5-Point Likert Scale”. Em: *Handbook of Disease Burdens and Quality of Life Measures*. Ed. por Victor R. Preedy e Ronald R. Watson. New York, NY: Springer New York, 2010, pp. 4288–4288. ISBN: 978-0-387-78665-0. DOI: 10.1007/978-0-387-78665-0\_6363. URL: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-78665-0\\_6363](https://doi.org/10.1007/978-0-387-78665-0_6363).
- [121] Juliana Carvalho Ferreira e Cecilia Maria Patino. “O que realmente significa o valor-p?” Em: *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 41.5 (2015), pp. 485–485.
- [122] Dr. Saul McLeod. *p-value @ www.simplypsychology.org*. 2019. URL: <https://www.simplypsychology.org/p-value.html#1>.
- [123] Ana Marta e Lisboa Vila. “O valor-p do teste dos sinais Matemática e Aplicações”. Tese de doutoramento. Instituto Superior Técnico, 2015.
- [124] Luisa Zanolli Moreno e André Moreno Morcillo. “O teste do qui-quadrado como medida de associação entre variáveis qualitativas”. Em: January (2020), pp. 1–21. DOI: 10.11606/s1518-CITATIONS.

- [125] Henrique São Mamede. *Segurança Informática nas Organizações*. FCA, 2006, p. 512. ISBN: 978-972-722-441-8. URL: <https://www.fca.pt/pt/catalogo/informatica/seguranca-ciberseguranca-protexao-de-dados/seguranca-informatica-nas-organizacoes/>.
- [126] Mário Antunes e Baltazar Rodrigues. *Introdução à Cibersegurança - A Internet, os Aspetos Legais e a Análise Digital Forense*. FCA, 2018, p. 256. ISBN: 9789727228614.
- [127] Aaron Gember et al. “Toward software-defined middlebox networking”. Em: *Proceedings of the 11th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, HotNets-11* (2012), pp. 7–12. DOI: 10.1145/2390231.2390233.
- [128] Wolfgang Braun e Michael Menth. “Software-Defined Networking Using OpenFlow: Protocols, Applications and Architectural Design Choices”. Em: *Future Internet* 6.2 (2014), pp. 302–336. ISSN: 1999-5903. DOI: 10.3390/fi6020302.
- [129] Yili Gong et al. “A survey on software defined networking and its applications”. Em: *Frontiers of Computer Science* 9.6 (2015), pp. 827–845. ISSN: 20952236. DOI: 10.1007/s11704-015-3448-z.
- [130] Ana Rita Pires Marques. “Desenvolvimento do sistema de análise e descrição de funções da Associação Mais Proximidade Melhor Vida”. Tese de doutoramento. Universidade de Lisboa. Instituto Superior de Economia e Gestão, 2015. URL: <http://hdl.handle.net/10400.5/10607>.

# Apêndices



# Apêndice A

## Questionário aos Municípios

### Utilização de Redes SDN com Inteligência Artificial na Administração Pública Local

\* Obrigatório

#### 1 - Caracterização do Inquirido

1

Idade \*

2

Gênero \*

Feminino

Masculino

3

Localização da Autarquia onde trabalha? \*

- Zona Norte (Distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto, Vila Real, Bragança, Aveiro, Viseu e Guarda)
- Zona Centro (Distrito de Coimbra, Castelo Branco, Leiria, Santarém, Lisboa e Portalegre)
- Zona Sul (Distrito de Setúbal, Évora, Beja e Faro)
- Região Autónoma dos Açores
- Região Autónoma da Madeira

4

Tipo de Carreira \ Categoria de que é titular \*

- Especialista de Informática
  - Técnico de Informática
  - Técnico Superior
  - Assistente Técnico
  - Assistente Operacional
  -
- Outro

## 2 - Redes SDN (Software Defined Network)

5

Conhece o conceito de Redes SDN (Software Defined Network)? \*

- Sim
- Não

6

Trabalha com a tecnologia SDN na gestão de redes \*

- Sim
- Não

7

Se respondeu Sim, na questão 6, indique em que situação é utilizada \*

8

Se não, qual é o motivo \*

- A Infraestrutura não suporta
- Falta de recursos humanos
- Falta de recursos financeiros
- Complexidade de implementação
- Inexistência de fornecedores adequados e fiáveis

- 

Outro



### 3 - O que são Redes SDN? Breve Explicação

A constante evolução tecnológica torna cada vez mais exigentes os serviços de uma rede e da Internet, tais como o streaming de vídeo, o big data, serviços de virtualização e serviços na cloud, entre outros, originando uma mudança na arquitetura de redes de computadores e potenciando dessa forma o desenvolvimento de redes mais flexíveis e dinâmicas.

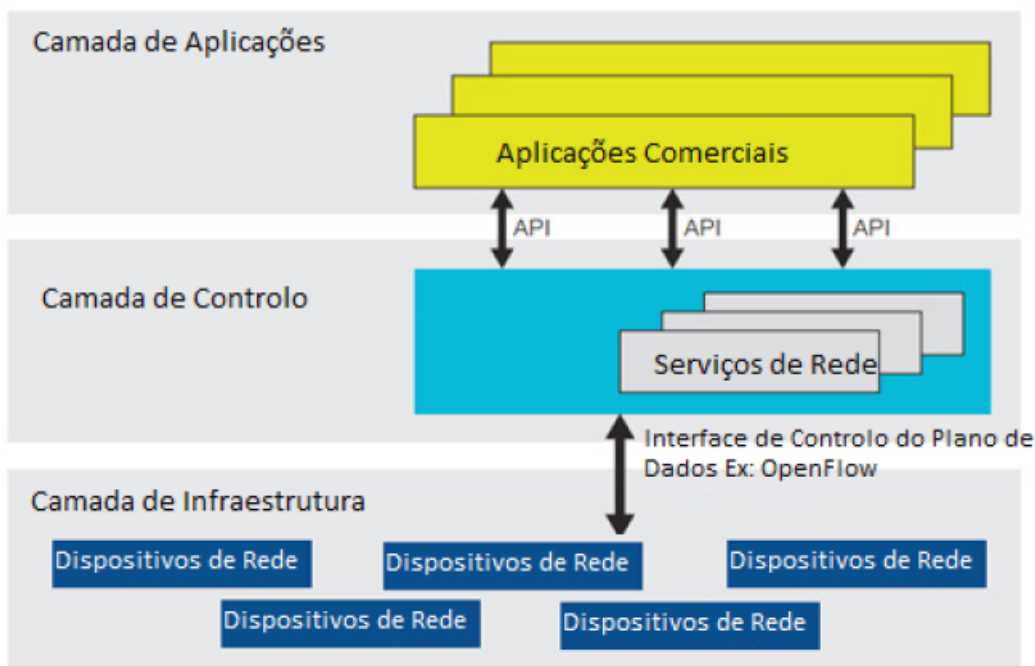
Para dar resposta a tais necessidades foi criado um novo conceito de arquitetura de rede conhecida por SDN – Software Defined Network (traduzido para português como Rede Definida por Software).

As redes SDN separam o plano de dados do plano de controlo, sendo, por isso, possível centralizar a gestão (plano de controlo) dos equipamentos num único lugar. Por sua vez, a operação (plano de dados) funciona separada em cada um dos respetivos equipamentos de rede.

As redes SDN dividem-se em três níveis, o plano de gestão, o plano de dados e ainda o plano de controlo, ficando concentrado num único ponto chamado de controlador e desta forma pode ser programado e é utilizado como o cérebro da rede.

O paradigma das redes SDN surgiu com o intuito de melhorar a utilização de recursos da rede, facilitar a sua gestão, reduzir os custos e promover a inovação das redes de computadores.

Desta maneira, o controlo fica centralizado num único elemento, o controlador. Podemos encarar a arquitetura das redes SDN, onde temos o controlador como ponto centralizado da inteligência da rede, sendo ele o responsável por garantir a comunicação entre os routers e os switches e as aplicações ou lógicas que controlam a operação da rede.



9

Acha que seria interessante utilizar no seu serviço, a tecnologia de Rede SDN? \*

Discorda Totalmente    1    2    3    4    5    Concorda Totalmente

## 4 - Benefícios da Utilização das Redes SDN

10

Principais aplicações que podem beneficiar das redes SDN \*

	1 - Discordo Totalmente	2 - Discordo	3 - Nem Concordo / Nem Discordo	4 - Concordo	5 - Concordo Totalmente
Gestão de Redes e Engenharia de Tráfego	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Balanceamento de Carga (Gestão de Largura de Banda)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Segurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Controlo Distribuído de Aplicações e Integração na Cloud (Virtualização)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Monitorização e Inteligência de Rede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 5 - Integração da Inteligência Artificial nas Redes SDN

11

Vê vantagens da integração da Inteligência Artificial nas Redes SDN (Software Defined Network)? \*

Discordo Totalmente    1    2    3    4    5    Concordo Totalmente

12

Quais seriam as áreas mais importantes da integração da inteligência Artificial nas redes SDN? \*


	1 - Discordo Totalmente	2 - Discordo	3 - Nem Concordo / Nem Discordo	4 - Concordo	5 - Concordo Totalmente
Segurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Classificação de Tráfego	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otimização de Rotas de Encaminhamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gestão de Recursos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualidade de Serviço (QoS)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Quais as vantagens da integração da Inteligência Artificial \*

	1 - Discordo Totalmente	2 - Discordo	3 - Nem Concordo / Nem Discordo	4 - Concordo	5 - Concordo Totalmente
Gestão mais eficiente dos recursos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Redução de custos na gestão de rede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gestão eficiente de recursos na rede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Disponibilização de mais serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento da disponibilidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

---

Este conteúdo não foi criado nem é aprovado pela Microsoft. Os dados que submeter serão enviados para o proprietário do formulário.

 Microsoft Forms